

**UNIVERSIDAD
AUTONOMA
METROPOLITANA**



Casa abierta al tiempo

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ANIDÓLICO PARA MEJORAR EL CONFORT LUMÍNICO Y EL AHORRO ENERGÉTICO EN ESPACIOS DE EDUCACIÓN BÁSICA

ANA KAREN GARCÍA RUIZ

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño

Línea de investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto García Chávez

Director de la tesis

México D.F.

Julio, 2014

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN- ABSTRACT

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN	21
1.1 Antecedentes	21
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Hipótesis.....	23
1.4 Justificación	23
1.5 Objetivos de investigación	23
1.5.1 General.....	24
1.5.2 Específicos	24
CAPÍTULO 2 – EL USO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	26
2.1 Antecedentes Históricos	26
2.1.1 Egipto	28
2.1.2 Grecia	30
2.1.3 Roma	31
2.1.4 Arquitectura Bizantina	32
2.1.5 Gótico	33
2.1.6 Renacimiento	34
2.1.7 Barroco	35
2.1.8 La Revolución Industrial y su influencia hasta nuestros días.	35
2.2 El uso de la iluminación natural de la arquitectura en México a través del tiempo.....	37
CAPÍTULO 3 - SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA ILUMINACIÓN	44
3.1 El cambio climático y sus consecuencias.	44
3.2 La dependencia energética. Consumo y producción.	46
3.3 Situación energética actual a nivel Global.	49
3.3.1 Energía Primaria y su Consumo en el Mundo	54
3.3.2 Patrón del Consumo Regional	55
3.3.3 Reservas del Petróleo.....	56
3.3.4 Los Principales Países Consumidores de Energía	57

3.4 Situación energética actual de México	60
3.4.1 Consumo Nacional de Energía.....	62
3.4.2 Consumo de Energía Nacional por sectores.....	64
3.4.3 El consumo Nacional de Energía Eléctrica.....	66
3.4.4 El potencial de México en energías renovables	67
3.5 Consecuencias medioambientales del consumo de la energía convencional	69
3.6 Efectos del uso del alumbrado en los edificios y su relación con el Cambio Climático.	72
CAPITULO 4 – LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA	76
4.1 La luz.....	76
4.1.1 La naturaleza de la luz. Teorías.	76
4.1.2 Espectro electromagnético.	79
4.1.3 Espectro visible y los colores espectrales.	80
4.1.4 Temperatura de Color.	80
4.1.5 Índice de Reproducción Cromática (IRC).....	81
4.1.6 La importancia del color.....	82
4.1.7 Las Fuentes de luz y sus ventajas.	82
4.1.8 Tipos de Cielo.	84
4.1.9 Fuentes de luz natural directa, natural indirecta y natural difusa.	88
4.2 Magnitudes y unidades fotométricas.	88
4.2.1 Flujo luminoso.	89
4.2.2 Intensidad luminosa.	89
4.2.3 Iluminancia.	90
4.2.4 Luminancia.	90
4.3 Fenómenos asociados a la propagación de la luz.	91
4.4 Leyes Fundamentales.	93
4.5 Sistemas de iluminación natural y los factores que influyen en la visión.....	94
4.6 Factores que influyen en la visión.....	97
4.7 Confort lumínico y visual.....	102
4.8 Normatividad sobre el uso de iluminación natural.....	103
4.8.1 Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones del Distrito Federal. .	104
4.8.2 Normas de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social.	110
4.8.3 Niveles internacionales de iluminación recomendados.	113

4.9 Niveles Medios de Iluminación al Plano de Trabajo Recomendados para la República Mexicana por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII).....	115
4.10 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED).....	116
4.11 Illuminating Engineering Society (IES).....	121
4.12 International Commission on Illumination (CIE).	123
4.13 Conclusiones.	125
CAPÍTULO 5 - LA IMPORTANCIA DE LA LUZ NATURAL PARA EL SER HUMANO.	127
5.1 Los efectos de la luz en la visión.	127
5.1.1 Riesgos de la luz en el sistema visual.	129
5.2 La importancia de luz natural en la salud humana.	130
5.3 Desventajas de la iluminación artificial.....	134
5.4 Iluminación natural y Productividad laboral.	136
5.5 La influencia de la iluminación natural y los efectos visuales en el trabajo.....	138
5.4 La Iluminación Natural en diferentes ambientes.	140
5.4.1 Educativo.....	140
5.4.2 Oficinas e Industria.....	141
5.6 Conclusiones.....	143
CAPÍTULO 6 - ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL EN EDIFICACIONES.	146
6.1 Entorno y género de edificio.	146
6.2 Planificación solar.....	148
6.2.1 Implantación del edificio y coordenadas geográficas.	149
6.2.2 Geometría solar.....	151
6.2.3 Métodos de análisis.....	154
6.2.3 Orientación.....	160
6.2.4 Factores Climatológicos del sitio. Radiación, nubosidad e insolación.	163
6.3 Espacios arquitectónicos.....	172
6.3.1 Parámetros de Diseño.	173
6.3.2 Profundidad y Tamaño.	175
6.3.3 Elementos de captación de luz.....	176
6.3.4 Acabados. Colores y reflectancias.....	178

6.3.5 Ergonomía y distribución del mobiliario.	180
6.3.6 Factor de Luz de Día.	182
6.4 La ventana como elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural.	185
6.4.1 Forma, tamaño y orientación.....	186
6.4.2 Acristalamiento	188
6.5 Conclusiones.....	192
CAPÍTULO 7 - SISTEMAS INNOVADORES DE ILUMINACIÓN NATURAL.	194
7.1 Sistemas innovadores de iluminación natural.	194
7.1.1 Ductos solares o Lumiductos.....	195
7.1.2 Estante de luz intermedios.....	196
7.1.3 Sistema de persianas.....	197
7.1.4 Panel prismático.....	199
7.1.5 Panel cortado a laser.....	199
7.1.6 Repisas de luz.	201
7.1.7 Sistemas holográficos.....	202
7.1.8 Concentradores Solares.	202
7.2 Sistema de innovación natural propuesto. Anidólico.	203
7.2.1 Ventajas y Desventajas.....	206
7.3 Conclusiones.....	209
CAPÍTULO 8 - CASO ESTUDIO.....	211
8.1 Condiciones lumínicas en la ciudad de México	211
8.1.1 Nubosidad	211
8.1.2 Radiación	211
8.1.3 Insolación	211
8.1.4 Niveles de iluminancia.....	211
8.1.5 Niveles de luminancia	211
8.2 Descripción general del caso estudio.....	211
8.2.1 Metodología general.....	211
8.2.2 Descripción arquitectónica.....	211
8.2.3 Obstrucciones del edificio	211
8.2.4 Materiales y estructura	211

8.3 Metodología específica. Análisis cuantitativo y cualitativo	211
8.3.1 Cantidad de luz en cada punto de plano de trabajo	211
8.3.2 Factor de luz de día. (FLD)	211
8.3.3 Distribución de la luz	211
8.3.4 Deslumbramiento.....	211
8.4 Descripción del experimento	211
8.5 Modelo físico tridimensional.....	211
8.6 Descripción del dispositivo experimental	212
8.7 Descripción de los equipos de medición	212
8.8 Monitoreo	212
8.9 Diagnóstico.....	212
8.10 Simulación de modelo	212
CAPÍTULO 9 - RESULTADOS	212
9.1 Análisis e interpretación de los resultados sin sistema anidólico.....	212
9.2 Análisis e Interpretación de los resultados con sistemas anidólico y su comparación con los modelos de simulación.....	212
9.3 Análisis de costo beneficio	212
CAPÍTULO 10 – CONCLUSIONES	212
Fuentes.....	212
Bibliografía.....	212
Bibliografía.....	212
Figuras	217
Tablas.....	217
Apéndice A.....	217
Glosario y anexos	217

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conjunto de megalíticos, <i>Stonehenge</i> , Inglaterra.....	27
Figura 2. <i>Hemisferium</i> , reloj solar.....	27
Figura 3. Templo de Abu Simbel.	28
Figura 4. Templo de Karnak.	29
Figura 5. Templo Erecteión en la Acrópolis ateniense.	30
Figura 6. Efecto del Sol en el Partenón griego.	30
Figura 7. Cúpula del Panteón de Agripa.....	31
Figura 8. Interior de la Basílica de Santa Sofía.	32
Figura 9. Interior de la Basílica de San Apolinar El Nuevo, Italia.....	32
Figura 10. Policromas vidrieras que sustituyeron a los muros.....	33
Figura 11. Rosetón de la Catedral de Notre Dame de Paris.	33
Figura 12. Fachada de Santa Maria de Novella.	34
Figura 13. Baldaquino de San Pedro.....	35
Figura 14. Palacio de Cristal de John Paxton, 1851.....	36
Figura 15. Excesivo uso de ventanas. Edificio del <i>Bauhaus</i> , Alemania, 1926.....	37
Figura 16. Observatorio en Xochicalco, Morelos, México.....	38
Figura 17. Efectos del equinoccio en la pirámide de Chichen Itza, Yucatán, México. ...	38
Figura 18. Teatro Juárez de Guanajuato de 1903.	39
Figura 19. Teatro Nacional (Belas Artes) en 1939, Ciudad de México.	40
Figura 20. Interior del Palacio Postal de la Ciudad de México.....	40
Figura 21. Manejo de iluminación natural y el color en el vestíbulo de la casa –estudio del arquitecto Luis Barragán.....	41
Figura 22. Tendencia de la temperatura superficial global.	44
Figura 23. Porcentaje de emisiones globales de CO2 de 1990 a 1999.....	45
Figura 24. Consecuencia del Cambio Climático en el país.	45
Figura 25. Consumo de energía eléctrica en países de 2005-2007.	46
Figura 26. Utilización de combustibles para generación de electricidad en algunos países 2007.	47

Figura 27. Regiones y países con mayor luminosidad artificial en el mundo.	48
Figura 28. Situación del Petróleo en 2012.....	51
Figura 29. Balance mundial de 2012 e Histórico del Gas Natural.	52
Figura 30. Consumo de Gas Natural en 2012.	53
Figura 31. Balance mundial de 2012 del carbón.	53
Figura 32. Las energías renovables en la generación eléctrica mundial en 2012.	54
Figura 33. Energía primaria y su consumo en el mundo. (BP, 2013)	55
Figura 34. Patrón de consumo de energía (BP, 2013).	56
Figura 35. Reservas de petróleo a nivel mundial histórica y por región (BP, 2013).	57
Figura 36. Países con PIB per cápita más alto en el mundo.	58
Figura 37. Indicadores energéticos a nivel mundial.....	58
Figura 38. Utilización mundial de combustibles para la producción de energía.	59
Figura 39. Capacidad instalada de energía fotovoltaica en principales países (GW).	60
Figura 40. Producto interno bruto vs. consumo nacional de energía.....	61
Figura 41. Producción nacional de crudo por tipo (miles de barriles diarios. (SENER, 2012).....	62
Figura 42. Consumo nacional de Energía (Petajoules).	63
Figura 43. Consumo nacional de energía en 2011 (Petajoules).....	63
Figura 44. Consumo final por sectores en 2011.....	64
Figura 45. Evolución sectorial de las ventas internas de energía eléctrica en el periodo de 2000-2011. (GWh).....	66
Figura 46. Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana.	67
Figura 47. Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana.	69
Figura 48. Variación de la visión que el IPCC tiene sobre la influencia del ser humano sobre el cambio climático en sus informes.....	72
Figura 49. Zonas forestales en diferentes regiones del mundo.	73
Figura 50. Teoría Corpuscular de Newton.....	77
Figura 51. Teoría electromagnética de Maxwell.	78

Figura 52. Espectro electromagnético y longitudes de onda.	79
Figura 53. Espectro visible de luz.	80
Figura 54. Tipo de lámparas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromático (IRC).	81
Figura 55. Temperaturas de color en escala de °K.	81
Figura 56. Iluminación con lámparas LED.	82
Figura 57. Variación de luz natural que ingresa desde la ventana de una casa debido a las variaciones estacionales.	83
Figura 58. Distribución luminosa de los 15 tipos de cielos estándar (NG, 2007).	85
Figura 59. Distribución de luminancias del cielo nublado.	86
Figura 60. Distribución de luminancia de un cielo despejado.	87
Figura 61. Flujo luminoso.	89
Figura 62. Intensidad luminosa.	89
Figura 63. Iluminancia y luminancia.	90
Figura 64. Diagrama de reflexión de la luz.	91
Figura 65. Fenómeno de absorción.	92
Figura 66. Transmitancia difusa.	92
Figura 67. Aplicación de la ley de la inversa de los cuadrados.	93
Figura 68. Ley de Coseno.	94
Figura 69. Diferencias entre las curvas de isolux resultantes en el mismo espacio interior modificando solamente la ubicación de la ventana en los muros Norte, Sur, Oeste y Este.	95
Figura 70. Edificios con y sin ventanas, así como tipos de dispositivos de iluminación cenital.	96
Figura 71. A mayor dificultad para la percepción visual, mayor debe ser el nivel medio de iluminación.	98
Figura 72. Algunos de los contrastes de color más efectivos.	98
Figura 73. Diferencia de luminancias respecto a zonas más iluminadas: sombras.	99
Figura 74. Deslumbramiento directo y reflejado.	100
Figura 75. Deslumbramiento ocasionado por mala ubicación de mobiliario.	101

Figura 76. Ambiente cromático en oficinas.....	101
Figura 77. Nivel adecuado de confort visual en los espacios.	102
Figura 78. Inadecuada orientación de ventanas.....	102
Figura 79. Criterios LEED.....	116
Figura 80. Certificaciones LEED.....	121
Figura 81. Partes del ojo humano.....	128
Figura 82. Características de conos y bastones.....	128
Figura 83. Retinopatía ocular.	129
Figura 84. Dolor de cabeza por falta de una adecuada iluminación natural.	130
Figura 85. El desorden afectivo estacional mejor conocido como SAD, se caracteriza por tener un desorden afectivo bipolar.	131
Figura 86. La fototerapia ha sido el tratamiento con mayor eficiencia para personas con el síndrome de desorden afectivo estacional.....	131
Figura 87. La entrada de iluminación natural a los espacios disminuye la incidencia de problemas de salud.	132
Figura 88. Luz solar como fuente de producción de la vitamina D.	133
Figura 89. La sobreexposición a la luz solar puede ocasionar problemas a la piel.	134
Figura 90. Daño en la retina a causa del uso de luces LED.....	135
Figura 91. Daño en la retina a causa del uso de luces LED.....	135
Figura 92. Los rayos UV de las bombillas fluorescentes pueden ser destructivos a nivel celular.....	136
Figura 93. Una buena iluminación puede aumentar la productividad de los trabajadores.	137
Figura 94. Oficinas con mala iluminación causan pérdidas de productividad.....	137
Figura 95. Relación entre la edad y la necesidad de luz para leer un libro (Brainard, 2001).	138
Figura 96. Relación entre el rendimiento visual relativo (en %) y el nivel de iluminación (en lux). Línea azul continua: personajes jóvenes, línea roja discontinua: personas mayores.....	139

Figura 97. Nivel de quejas sobre estrés (con dispersión estadística) en un grupo de trabajadores que utiliza bajo luz artificial exclusivamente, o con luz artificial y natural combinadas.....	139
Figura 98. Efectos de iluminación en ventanas (reflejos deslumbramientos) afectan el desempeño de los estudiantes.....	141
Figura 99. Número de accidentes laborales en función de iluminación y por tipo de lesión.	142
Figura 100. La iluminación debe proveer de una visibilidad adecuada a los trabajadores para desarrollen sin problemas sus actividades.....	143
Figura 101. Diversidad de género de edificios.....	147
Figura 102. Asoleo en función de la distancia entre edificios.	148
Figura 103. Coordenadas geográficas.	149
Figura 104. Coordenadas extremas de México.	150
Figura 105. Incidencia de los rayos solares a la Tierra.	150
Figura 106. Inclinação del eje Terrestre.	150
Figura 107. Diseño de dispositivos de control solar a través del conocimiento de geometría solar.	151
Figura 108. Movimiento de rotación de la Tierra.	152
Figura 109. Trayectoria de la Tierra alrededor del sol y cambios estacionales.	152
Figura 110. Bóveda celeste y coordenadas del sol relativas a un observador ubicado sobre la Tierra en el punto O.....	153
Figura 111. Carta solar Estereográfica.....	154
Figura 112. Heliodon.	154
Figura 113. Ángulo de acimut (z) y altura (h).....	156
Figura 114. Ángulo de incidencia.	158
Figura 115. La orientación es la ubicación de fachadas y distribución de los espacios con respecto al recorrido solar.....	160
Figura 116. El recorrido solar varía dependiendo la estación.....	160
Figura 117. Disposición solar del edificio.	161
Figura 118. Mapa climático de México según Kôppen-García.	164

Figura 119. Radiación y espectro solar.	165
Figura 120. Radiación difusa, directa y reflejada.....	166
Figura 121. Radiación absorbida.....	167
Figura 122. La cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra es igual a la suma de la radiación solar que es reflejado (albedo) y la radiación de onda larga emitida por la Tierra al espacio exterior.	167
Figura 123. Irradiación global diaria promedio mensual (MJm-2), en Marzo (Equinoccio de primavera)	168
Figura 124. Gráfica anual de radiación solar para el D.F de la estimación de datos de radiación solar por el Dr. Víctor A. Fuentes Freixanet.....	168
Figura 125. Suma anual de radiación global horizontal.....	169
Figura 126. Clasificación de las nubes.	170
Figura 127. Gráfica anual de nubosidad para el D.F de la estimación de datos de radiación solar por el Dr. Víctor A. Fuentes Freixanet.....	171
Figura 128. Mapa de insolación de México.	172
Figura 129. Rascacielos con reflejos solares al exterior.....	173
Figura 130. La interacción de la iluminación natural en el interior y exterior de la edificación.	174
Figura 131. Claraboya. Elemento de captación de luz natural.	177
Figura 132. Patio de luz. Elemento de captación de luz natural.	177
Figura 133. Atrio. Elemento de captación de luz natural.	178
Figura 134. Se debe tener cuidado con la reflectancia de los materiales y la iluminación para evitar reflejos incómodos.....	179
Figura 135. Plano de trabajo y ergonometría.	180
Figura 136. Altura del plano de trabajo y confort postural.	181
Figura 137. Disposición de un plano de trabajo en relación a la ventana.....	181
Figura 138. Disposición de luminarias dependiendo la altura del plano de trabajo.	182
Figura 139. Valores del Factor de Luz de Día (FLD) para un aula.	184
Figura 140. La ventana como fuente de iluminación natural por excelencia.	185
Figura 141. Estrategias para aumentar la iluminación al fondo del local.	187

Figura 142. Profundidad de iluminación natural a mayor altura.....	187
Figura 143. El acristalamiento y el diseño de ventanas han tenido grandes avances tecnológicos en los últimos años.....	188
Figura 144. Energía incidente en un cristal.	189
Figura 145. Características de los cristales en relación a la iluminación natural. (Confortglass).....	190
Figura 146. Comportamiento del vidrio transparente a la radiación.	191
Figura 147. Variaciones del porcentaje de área vidrio con diferentes marcos	191
Figura 148. Funcionamiento de ductos solares.	195
Figura 149. Prototipo de ducto solar.....	195
Figura 150. Funcionamiento de estantes de luz a partir del programa Autodesk-Ecotect.	196
Figura 151. Sistema de persianas verticales y horizontales.....	197
Figura 152. El ángulo de inclinación de las persianas influye en la transmisión u obstrucción de la iluminación al interior.....	197
Figura 153. Sistemas de persianas operables con control de seguimiento de luz solar.	198
Figura 154. Funcionamiento de panel prismático.	199
Figura 155. Funcionamiento de paneles cortados a láser.	200
Figura 156. Acercamiento de cortes con láser que reflejan la luz del sol.	200
Figura 157. Vista de un panel cortado a láser.	200
Figura 158. Funcionamiento de repisas de luz o light shelves.	201
Figura 159. Descripción del sistema holográfico.	202
Figura 160. Vidrio holográfico.....	202
Figura 161. Funcionamiento Concentrador Solar.....	203
Figura 162. Concentrador Solar parabólico.....	203
Figura 163. Diagrama del colector anidólico cenital.	204
Figura 164. Esquema del sistema anidólico con el seguimiento de cada uno de los rayos desde todos sus ángulos.....	205

Figura 165. Oficina equipada con un techo anidólico (vertical) que se encuentra compuesto por un conducto de luz y un elemento distribuidor.....	205
Figura 166. Abertura anidólica cenital.	206
Figura 167. Módulo de prueba de iluminación natural equipado con un colector anidólico vertical.....	207
Figura 168. Vista frontal del techo anidólico, instalado en un módulo de prueba móvil.	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los 15 cielos estándar del CIE.	85
Tabla 2. Resumen de las principales características de las magnitudes fotométricas...88	88
Tabla 3. NTCPA - Patios de iluminación y ventilación natural.	106
Tabla 4. NTCPA – Iluminación Artificial.	109
Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación de acuerdo a la tarea visual del puesto de trabajo.	111
Tabla 6. Niveles Máximos permisibles del factor de reflexión.....	112
Tabla 7. Niveles recomendados de iluminancia horizontal (lux) para diferentes actividades en edificios no residenciales destinados a oficinas, escuelas, hospitales e industria.....	114
Tabla 8. Niveles medios de iluminación recomendados por la SMII.	115
Tabla 9. Puntos a obtener en Energía y atmósfera.....	117
Tabla 10. Puntos a obtener en calidad ambiental interior.	119
Tabla 11. Niveles de iluminación por IES.	123
Tabla 12. Iluminancia recomendados para lugares de trabajo.....	124
Tabla 13. Ajuste de los niveles de iluminación recomendados.	124
Tabla 14. Efectos secundarios de la fototerapia (Kogan AO, 1998).	132
Tabla 15. Aumento de la productividad en la industria metalúrgica en una tarea visual de dificultad moderada, expresado según el efecto conjunto de la mayor productividad, la reducción de los errores y rechazos y la reducción de accidentes (van Bommel, et al., 2002).	144
Tabla 16. Datos de posición solar.....	157
Tabla 17. Profundidades límite de salas iluminadas lateralmente (m).	176
Tabla 18. Superficies mínimas de ventana cuando se limitan a una sola pared.....	187
Tabla 19. Típicos valores para diferentes tipos de cristal (IDAE, 2005).....	190

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Teoría cuántica de Plank.....	78
Ecuación 2. Intensidad luminosa.....	89
Ecuación 3. Iluminancia.	90
Ecuación 4. Luminancia.	91
Ecuación 5. Ley de la inversa de los cuadrados.	93
Ecuación 6. Ley de Coseno.	94
Ecuación 7. Ángulo horario.	155
Ecuación 8. Ecuación de Cooper.	155
Ecuación 9. Altura solar.	156
Ecuación 10. Acimut solar.....	156
Ecuación 11. Ángulo horario.	156
Ecuación 12. Duración del día en horas.	156
Ecuación 13. Ángulo horario del Orto.	157
Ecuación 14. Orto en horas.....	157
Ecuación 15. Ángulo horario del Ocaso.	157
Ecuación 16. Ocaso en horas.	157
Ecuación 17. Ángulo de incidencia horizontal.	158
Ecuación 18. Ángulo de incidencia vertical.	158
Ecuación 19. Tiempo Solar.	159
Ecuación 20. Fórmula de Spencer (ecuación del tiempo) (Muhammad, 1983).....	159
Ecuación 21. Radiación global.	166
Ecuación 22. Profundidad y tamaño del espacio respecto a la iluminación natural.	175
Ecuación 23. Ecuación del Factor de Luz de Día.....	183

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Planteamiento del problema
- 1.3 Preguntas de investigación
- 1.4 Hipótesis
- 1.5 Justificación
- 1.6 Objetivos de investigación

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, el hombre ha aprendido a usar fuentes de luz artificial que lo han liberado de la dependencia de la luz natural (Hopkinson, 1966), y en ocasiones, se asume que el manejo de ésta última se da por sentido común o simple experiencia que no necesita de un estudio previo. Por ese motivo, es que desde hace años la iluminación artificial juega un papel muy importante en todo el mundo, y todo parte de la necesidad que tuvo el hombre por producir energía que sirviera para simplificar su vida.

En su búsqueda, lamentablemente se encontró con combustibles fósiles que tiempo después fueron llamados fuentes de energía no renovable pero que servían perfectamente a éste propósito. Tal vez nunca se pensó en la gran dependencia que la humanidad tendría a estas fuentes no renovables que actualmente proporcionan de energía a todo el mundo y que han permitido grandes avances tecnológicos a lo largo del tiempo en diferentes sectores, tal y como lo fue la luz eléctrica que dio paso a la iluminación artificial que cambió la forma de vida de las personas.

Ante la manera de consumo irracional que se convirtió nuestra forma de vida, estas fuentes han significado grandes niveles de contaminación y alteración a nuestro planeta, en el cual muy pocas personas se han preocupado realmente por todo lo que conlleva la sobreexplotación de estos recursos.

En la República Mexicana, el principal consumo de energía es para la iluminación artificial, siendo el sector residencial el sector más representativo sobre todo en el Distrito Federal. Es cuestión de solo observar durante el día como se desperdicia la energía, la gran dependencia que se tiene tanto en casa como en espacios de horario laboral diurno (oficinas, escuelas, centros comerciales, plazas, etc.), lo que nos lleva a pensar que en muchos casos la iluminación artificial ha servido para minimizar errores, por una mala cultura o falta de conocimiento que se tiene para iluminar los espacios de manera natural.

Por eso, esta investigación está centrada en probar que los sistemas de iluminación natural de alta eficiencia pueden mejorar de forma considerable el confort lumínico de los espacios educativos en horario laboral diurno, los cuales, en el Distrito Federal ya sean públicos o privados usan de manera irracional la iluminación artificial para realizar sus trabajos sin ser ésta necesaria para llevarlos a cabo.

Así que se estudiarán, analizarán y evaluarán diferentes dispositivos, entre ellos los llamados anidólicos para establecer las ventajas y beneficios que se tienen al implementarlos en espacios educativos con baja iluminancia, donde se necesita dirigir un mayor flujo luminoso a mayores distancias manteniendo constantemente un buen nivel de iluminación para realizar el trabajo.

1.2 Planteamiento del problema

Cada vez se hace más común el escuchar sobre el mal manejo que hemos tenido a lo largo del tiempo de nuestros recursos naturales, de la sobreexplotación de las fuentes no renovables como el carbón, el gas natural, el petróleo, etc.; y que solo significan grandes niveles de contaminación para nuestro planeta por producir energía que nos simplifique la vida. En los últimos años, la tecnología avanzó con mayor rapidez, lo que permitió la creación de máquinas y equipo que ayudarán a obtener aquellos recursos que en el pasado no se habían podido explotar pero que de igual forma, al final, terminando dañando.

Son pocos a quienes les importa y hacen algo por el futuro de nuestro planeta, tal vez, en esta época las personas le han prestado mayor atención por los diferentes fenómenos naturales que se viven día a día, por los cambios tan repentinos del clima o porque ciudades o puertos importantes alrededor del mundo han quedado incomunicados por algún tiempo. Lo cierto es que la producción de energía se ha disparado en estos tiempos, que la dependencia hacia estas fuentes de energía sigue existiendo y el consumo irracional no se ve para cuando termine. Por lo que el uso de sistemas de iluminación natural podría ser una de las soluciones para evitar más emisiones de CO₂ a la atmósfera, tal y como lo era en los tiempos en los cuales no existía la energía eléctrica.

1.3 Hipótesis

La utilización de sistemas anidólicos en edificios existentes aumentan los niveles de iluminación, así como las condiciones de confort de los usuarios en los espacio con baja iluminancia, además de coadyuvar al ahorro de energía eléctrica.

1.4 Justificación

Actualmente, la infraestructura del sector educativo sobre todo la de gobierno, no cuenta con una infraestructura adecuada para realizar las tareas de manera confortable para sus usuarios. El derroche de energía en cada uno de los planteles es considerable, ya que a pesar de impartir clases en horarios diurnos y contar con fuentes de iluminación natural, en su mayoría la iluminación artificial está en uso durante todo el día.

Los planteles no pagan por la energía eléctrica que consumen, los responsables de brindar este servicio y pagarlo es el gobierno, ya sea el municipio o la delegación a la que le corresponda. Pero sin duda, representa un fuerte gasto para el gobierno brindar este servicio a cada una de las escuelas de gobierno que se tiene a nivel nacional, por lo que implementar un dispositivo eficiente que brinde de iluminación natural los espacios para evitar el uso de iluminación artificial, se vuelve una interesante opción.

El implementar y usar de manera adecuado estos dispositivos haría bajar los niveles de consumo actuales de energía eléctrica, por lo que se reducirían las emisiones de CO₂ a la atmósfera por cada kilowatt/hora no consumido. Además de mejorar el confort lumínico de los usuarios, el cual es indispensable para realizar actividades específicas que necesitan de niveles apropiados de iluminación y que se basan en normas mexicanas.

1.5 Objetivos de investigación

Los objetivos que se plantean en la investigación, guiarán los trabajos a realizar y evaluarán los resultados finales:

1.5.1 General

- En este trabajo se presentan los conceptos básicos de la aplicación de un sistema de iluminación natural anidólico y se plantean las bases para su integración en edificios construidos de educación básica para obtener condiciones de confort lumínico para los ocupantes con el máximo ahorro de energía eléctrica.

1.5.2 Específicos

- Comparar mediante una investigación bibliográfica varios sistemas de iluminación natural de alta eficiencia contra los sistemas anidólicos para escoger tres y evaluarlos junto a éste.
- Analizar y evaluar el comportamiento de los dispositivos de manera cuantitativa en un modelo de espacio educativo determinado con condiciones específicas para determinar el de mayor eficiencia.
- Analizar y evaluar el comportamiento del dispositivo anidólico con diferentes materiales en un modelo de espacio educativo determinado con condiciones específicas para determinar el de mayor eficiencia.
- Evaluar cada uno de los dispositivos en modelos de simulación para analizar su comportamiento lumínico y compararlo con los tridimensionales.
- Desarrollar una guía de diseño para sistemas anidólicos.

CAPÍTULO 2

HISTORIA

2.1 Antecedentes Históricos

2.1.1 Egipto

2.1.2 Grecia

2.1.3 Roma

2.1.4 Arquitectura Bizantina

2.1.5 Gótico

2.1.6 Renacimiento

2.1.7 Barroco

2.1.8 La Revolución Industrial y su influencia hasta nuestros días

2.2 El uso de la iluminación natural de la arquitectura en México a través del tiempo

CAPÍTULO 2 – EL USO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA A TRAVÉS DEL TIEMPO.

En este capítulo se hablara sobre la importancia que ha tenido el sol y la iluminación natural en la historia, tanto en culturas orientales como occidentales hasta llegar a nuestros días y comprender así, por qué han perdurado ciertas soluciones arquitectónicas que nuestros antepasados ocupaban para poder iluminar sus interiores, todo esto con el fin de adentrarnos al tema principal de investigación conociendo diferentes formas o sistemas de iluminación natural que se han empleado en la historia.

2.1 Antecedentes Históricos

Es bien cierto, que las primeras civilizaciones de las que se tiene memoria eran grandes observadoras de su entorno, fue así, como muchas de ellas pudieron llegar a ser grandes imperios y dejar una huella en la historia. Diferentes entidades en los ciclos de la naturaleza eran veneradas de diferentes formas en cada una de las culturas que fueron existiendo, teniendo en común la veneración al sol, éste cuerpo astronómico se volvió el más relevante en cada una de las civilizaciones antiguas y modernas, ya que para el hombre, fue solo cuestión de tiempo darse cuenta de que éste era tanto nuestra principal fuente de luz, calor y energía, y lo indispensable que era para que la vida en el planeta Tierra se siguiera dando tal y como se conocía.

Fueron los relojes de sol o marcadores solares los primeros instrumentos de medición hechos por el hombre, y durante siglos, la única forma con la que se contaba para medir el tiempo. Culturas antiguas, tanto en el oriente como en el occidente del mundo, observaron días y noches los movimientos del sol, la luna y el planeta Tierra para aprender y conocer, y así crear tales instrumentos de medición.

Entre los primeros marcadores solares que existieron, se nombra el conjunto de megalíticos de *Stonehenge* en Inglaterra¹ (Figura 1), el cual se cree que era centro ceremonial que rendía culto al sol y que fue hecho por los druidas o por culturas del

¹ Construido en diferentes etapas entre el 3 000 a.C y el 1 500 a. C.



Figura 1. Conjunto de megalíticos, *Stonehenge*, Inglaterra.

mediterráneo. Existe la posibilidad de que fuera un observatorio astronómico, esta idea parte debido a la alineación y acomodo de las piedras que tienen cierta relación con ciclos lunares, lo cierto es que la avenida principal se encuentra alineada con la salida del Sol en el horizonte el día del solsticio de verano, por lo que si uno se para en el centro puede ver como coincide la salida del cuerpo celeste con la cima de la piedra principal llamada *Heel Stone*.

En Caldea, región situada en la parte baja de Mesopotamia, habitaron los caldeos quienes fueron reconocidos por sus grandes conocimientos en astronomía. Su habilidad para entender los movimientos del planeta y, del Sol y la luna, los llevaron a diseñar un



Figura 2. *Hemisferium*, reloj solar.

reloj solar al que nombraron *Hemisferium*² (Figura 2); este reloj era una pieza cúbica con una cavidad hemisférica en el interior donde se grababan unos arcos q correspondían a las estaciones del año divididas en 12 secciones que correspondían a las 12 horas del sol, al centro de éste se colocaba una varilla con la intención de que su sombra fuera cambiando conforme la estación y hora.

² Berosus, sacerdote y astrónomo caldeo, creador del *Hemisferium* en el año 290 a. C.

De la misma manera en que estas regiones estudiaron a los astros, otras civilizaciones antiguas comenzaron a estudiar no solo la astronomía, sino también la forma de rendir culto a sus dioses en base a la iluminación procedente del Sol.

2.1.1 Egipto

En el Antiguo Egipto, había dos formas de dividir a la arquitectura. La primera de ellas era la imperecedera: aquella que se pensaba y realizaba para la eternidad, tal y como fueron sus tumbas o templos; la segunda fue la perecedera: una arquitectura civil hecha para el hombre que fuera provisional, como sus palacios, casas, ciudades, etc.

Los egipcios se aferraron a sus tradiciones, aunque su necesidad de construir nuevos templos hizo que cambiaran sus métodos de construcción o sus materiales, pero nunca dejaron a un lado el aspecto solemne y tenebroso que imponían cada una de sus obras, siendo admiradas por la gran solidez y el excelente trabajo en ellas (Fletcher, 2005).

Fueron sus creencias religiosas y el medio social, así como su clima los que dictaron en su forma de llevar a cabo su arquitectura. Su veneración por el Dios sol Ra como soberano de toda creación, influyó notablemente en la orientación de sus construcciones (Figura 3) y la planeación de las ciudades, así como ser los primeros en basarse en un calendario solar.

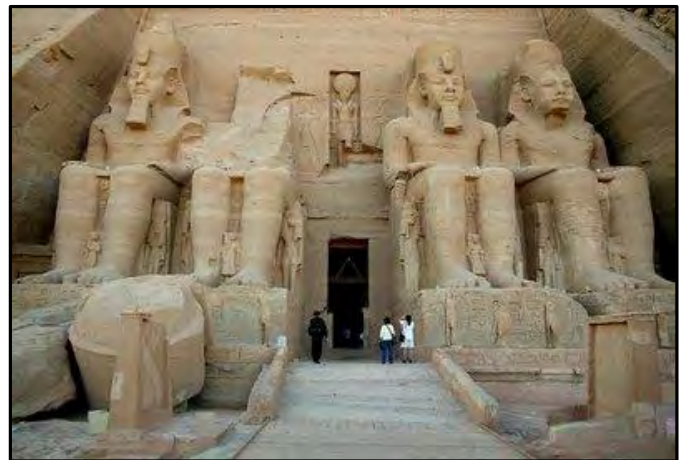


Figura 3. Templo de Abu Simbel.

Su clima seco y cálido, hizo que se preservaran algunos edificios, pero también, debido a éste la arquitectura egipcia tenía características particulares. Tanto el adobe como la piedra caliza fueron los principales materiales; debido a la naturaleza del material y la gran masividad de los muros en sus edificios, se tenía pocas aberturas que permitieran el paso de la luz, sirviendo más como ductos de ventilación que de iluminación, debido a la intensidad del sol en aquél lugar y su deslumbramiento.

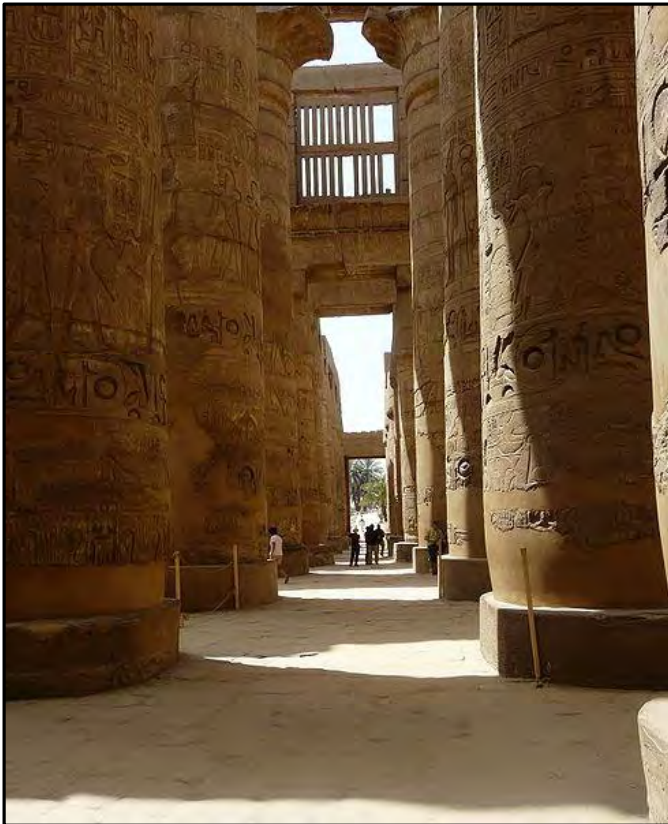


Figura 4. Templo de Karnak.

Fue por medio de patios y pórticos con altas columnas que introducían luz al interior de los edificios, aunque la iluminación se iba reduciendo conforme se avanzaba al interior. Ante ésta problemático, los egipcios usaron pequeños huecos abiertos en el techo, llamados lucernarios, pero también hicieron uso de ventanas que permitieran iluminar sus espacios. “Fue la arquitectura egipcia la que dio origen al triforio en sus templos con su clerestorio, donde se pretendía iluminar la sala por medio de columnas de piedra ubicadas sobre los tejados de las naves colindantes, a través de ranuras verticales

perforadas en las losas de piedra (ARQHYS, 2004).”

El templo de Karnak (Figura 4) es uno de los más característicos, en su diseño los egipcios tomaron en cuenta los movimientos del sol, así como el cambio de las estaciones y solsticios, los cuales aprovechaban para celebrar al dios Ra mediante el nacimiento del Sol a través de sus arcos. Y así como de igual forma utilizaban velas o mechas mojadas en aceites como otras culturas para iluminar el interior de sus espacios para algunos lugares de poca profundidad donde la forma les permitiese, tuvieron la idea de utilizar un juego de espejos que reflejara la luz del sol para así poder introducirla a los espacios, aunque por el material de éstos la gran parte de luz era absorbida y dispersa haciendo mínima la iluminación en los espacios.

2.1.2 Grecia

La arquitectura griega se caracterizó por su adoración al Sol, y tanto sus templos como viviendas fueron muestra de ello, otras características fundamentales que los distinguieron fueron tanto su estructura como la decoración en sus edificios. Eran sus templos los que mayor importancia tenían y a los que concibían como entidad escultórica dentro del paisaje griego, frecuentemente, buscaban terrenos elevados para construirlos, con el objetivo de que fueran admirados por todos sus pobladores y que estos, pudieran admirar la elegancia de sus proporciones y los efectos de luz que se lograban sobre sus superficies en cualquier ángulo donde lo observaran.



Figura 5. Templo Erecteión en la Acrópolis ateniense.

Cada una de sus construcciones debía de tener acceso solar que les permitiera iluminación al interior de sus espacios, así como proporcionar a sus usuarios calentamiento a través de sus paredes que las orientaban para recibir los rayos del Sol, al igual que el trazo de sus ciudades y fachadas.

La arquitectura del templo se orientaba a crear un encuentro entre creyente y divinidad lo más memorable posible. Este aspecto de misticismo quedaba intensificado por los efectos de iluminación (Figura 5). Todo esto, debido a que los griegos diseñaban sus templos para que fueran apreciados desde afuera sin importar la clase social a la que



Figura 6. Efecto del Sol en el Partenón griego.

perteneciesen, pero aprovechando el uso de pórticos y columnas en sus templos para dejar pasar la luz a través de sus aperturas, combinándolo con pozos de luz para iluminar el interior de éstos. Como ejemplo de lo mencionado, se encuentra el Partenón, que estaba diseñado para que en un día concreto del año, los rayos del sol penetraran por la puerta e iluminaran la estatua de Atenea (Figura 6).

2.1.3 Roma

Los romanos introdujeron nuevas proporciones en la arquitectura, relacionadas con el uso de diferentes materiales, la adopción de órdenes clásicos griegos y el uso y creación de formas abovedadas y cupulares. Ellos fueron los primeros en crear leyes que tomaran en cuenta el sol y la iluminación natural, así como la utilización de vidrio transparente en sus ventanas y sistemas de calentamiento solar pasivo en sus casas, a través de huecos cubiertos con vidrio que actuaban como captadores de calor solar, implementando este método de igual forma en sus invernaderos para multiplicar sus cosechas y permitir el cultivo de otro tipo de plantas que no eran de la región.



Figura 7. Cúpula del Panteón de Agripa.

Una de las mayores dificultades que tenían para iluminar sus templos, se hallaba en la forma de combinar el abovedamiento de todas sus naves con la bóveda central de dónde provenía la mayor iluminación, dado por el uso de ventanas en el cimborrio que a veces terminaba siendo rematado con una linterna.

El Panteón de Agripa es un claro ejemplo del uso de sus bóvedas y cúpulas, debido a que el diseño del óculo deja entrar la luz del sol permitiendo la iluminación al interior de la bóveda, y conforme avanza el día va cambiando su posición para iluminar alternativamente cada uno de los altares de los diferentes dioses (Figura 7).

2.1.4 Arquitectura Bizantina



Figura 8. Interior de la Basílica de Santa Sofía.



Figura 9. Interior de la Basílica de San Apolinar El Nuevo, Italia.

Esta arquitectura fue la heredera de la romana e incorporó tanto novedades como soluciones técnicas que contribuyeran a aligerar las estructuras para evitar esa pesadez en sus construcciones como lo habían estado haciendo en la antigüedad, además de dotarlas de una mayor iluminación, siendo características sus cubiertas abovedadas en este periodo.

En la época Bizantina, la arquitectura se enfocó más en la parte religiosa debido a la importancia que tuvo la religión cristiana después de que Constantino la adoptara junto con todo el imperio, aunque también presentan otro tipo de construcciones, tales como fortificaciones, acueductos, cisternas, etc., siendo la iglesia de

Santa Sofía (Figura 8) la construcción más importante que se caracteriza por su gran anillo de ventanas que se encuentran apoyadas en cuatro pechinas, las cuales a su vez se posan sobre cuatro pilares, que al estar en el exterior del edificio parece como si la cúpula se sostuviera en el aire. (Fuentes, 1976)

En gran parte, la iluminación natural provenía de un cuidadoso sistema de múltiples ventanales, los cuales no solo estaban en lo alto de la nave central, sino también en sus

laterales. De igual forma, manejaban perforaciones en los muros para dejar entrar luz al interior del recinto, esto se puede ver en la Basílica de San Apolinar El nuevo (Figura 9), en Italia, donde el mármol blanco de sus columnas proporciona un notable contraste con la oscuridad del edificio.

2.1.5 Gótico

Al hablar de arquitectura gótica, debemos mencionar que la verticalidad fue parte de la época y que hubo un gran afán por la luz, por lo que se trató de prescindir de los muros que soportaban las pesadas bóvedas de antaño, y para esto, el cemento y el hierro fueron la solución al problema de soporte de las estructuras. Fue de esa forma que los vitrales se hicieron presente en la arquitectura (Figura 11) (Fuentes, 1976).

La importancia que le dieron a la luz en este periodo se notó en todas sus obras, la mayoría de las iglesias buscaba tener su cabecera orientada hacia el oriente, en busca de que el altar recibiera los primeros rayos del sol. Y gracias al cambio de la estructura de los edificios, los grandes huecos en los muros, tanto en sus laterales como en sus fachadas permitieran la iluminación al interior de los espacios que buscaban crear un ambiente bello y místico que correspondiera al hogar de Dios;



Figura 10. Policromas vidrieras que sustituyeron a los muros.

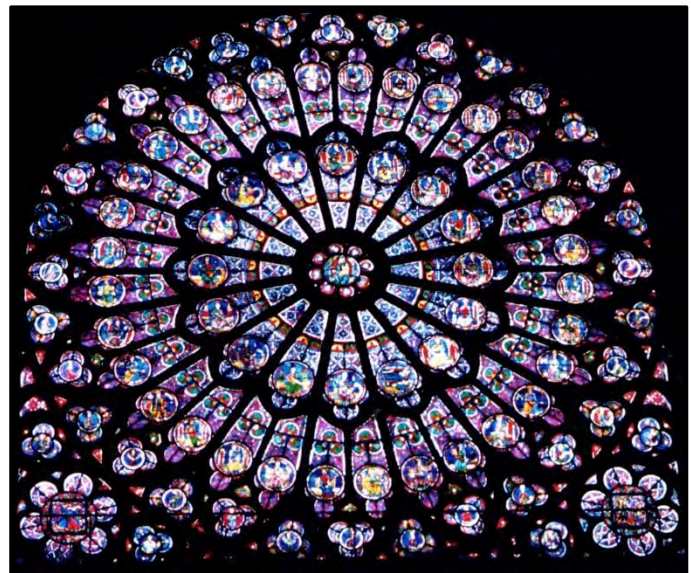


Figura 11. Rosetón de la Catedral de Notre Dame de Paris.

esto lo lograron gracias a la creación de vitrales, que además de estar destinados para cerrar grandes vanos que cumplían con la función de iluminar, también les permitió a los artistas dar rienda suelta a su imaginación a la hora de implementarlos.

El rosetón fue uno de los elementos decorativos más característicos del gótico, ubicado en vanos circulares en la parte alta de la fachada que lograba hermosos e interesantes efectos al interior de las catedrales, como lo es el de la Catedral de Notre Dame de Paris (Figura 11).

2.1.6 Renacimiento

Del análisis de elementos antiguos, del número y de la medida, nace la importancia de las proporciones, de reintroducir lo clásico y crear conceptos de originalidad y grandiosidad en la arquitectura. Se busca la belleza y la perfección mediante la proporción, teniendo sumo cuidado en el exterior de los edificios que buscan interés por el urbanismo.



Figura 12. Fachada de Santa Maria de Novella.

Por lo cual, era el exterior de la ventana lo que se priorizaba, haciendo que la iluminación fuera más sutil, pero sin dejar aún lado la belleza que se pretendía para incorporar la luz de los espacios exteriores, como los jardines, al interior de sus obras.

En la fachada de Santa Maria de Novella se refleja la forma en que se interpreta la luz en el renacimiento,

las superficies en su mayoría planas se combinan con las propiedades del mármol, haciendo que el edificio refleje la luz y exalte la figura del edificio, haciéndolo ver pulcro y estético (Figura 12).



Figura 13. Baldaquino de San Pedro.

2.1.7 Barroco

La arquitectura Barroca contrario a la Renacentista, busca asombrar con lujo, movimiento, grandiosidad y complejidad, deja a un lado las líneas rectas por las onduladas, cambia las antiguas formas por las curvas que entran y salen de las fachadas creando contrastes lumínicos y cromáticos, haciéndola uno de los principales factores. El uso de materiales para crear efectos lumínicos se vuelve importante para dramatizar las figuras y formas de los edificios.

Los contrastes de entradas y salientes se aplican en los muros, combinando zonas iluminadas y no iluminadas, buscando teatralidad, así como en el baldaquino de San Pedro donde se juega con los

claroscuros tanto en su fachada como en su interior, y donde la iluminación proviene en gran parte de la linterna de cúpula que cae de modo dramático sobre la escultura de San Andrés (Figura 13).

Uno de los métodos innovadores en el uso de la iluminación natural, fue el de las iglesias barrocas en Alemania, donde a partir de ventanas que estaban ocultas a la vista de los feligreses, los adornos o decoraciones ornamentales reflejaban luz indirecta para iluminar el espacio.

2.1.8 La Revolución Industrial y su influencia hasta nuestros días.

Esta etapa considerada como la arquitectura en hierro se caracterizó principalmente por la disponibilidad de nuevos materiales que surgieron a partir de la Revolución Industrial, se dio la construcción de grandes estructuras echas de hierro³ que permitían tener grandes vidrios de mayores dimensiones a menor costo. Aunque debemos de tener en cuenta que durante esa época hubieron muchos cambios sociales y económicos

³ Medida de protección ante los continuos incendios provocados por la máquina de vapor.

alrededor del mundo, fue el apogeo de las fábricas y su creciente número lo que ocasionó que personas en busca de trabajo, inmigraran de zonas rurales a urbanas, por lo que el problema de sobrepoblación no tardó en llegar y trajo consigo diversas situaciones que desfavorecieron a la humanidad. El brote de diferentes enfermedades hicieron preocupar a habitantes de distintas ciudades, las precarias condiciones en las que se vivían pronto se volvieron un tema alarmante en la sociedad pero fue hasta mediados del siglo XIX con los estudios del Dr. Niels R. Finsen⁴ que diseñadores y constructores se preocuparon por introducir una correcta iluminación natural en los edificios, medida que se había perdido ante la gran demanda de vivienda y el poco profesionalismo de los encargados por construir lugares no aptos para vivir, éstos demostraban la importancia de la iluminación natural para combatir contra la tuberculosis, enfermedad que se había desatado por las desfavorables condiciones sanitarias (Foundation, 2007).



Figura 14. Palacio de Cristal de John Paxton, 1851.

Fue un gran cambio el que se vivió durante aquella época, arquitectos que usaban la envolvente para iluminar y se basaban en las orientaciones para diseñar el uso de los espacios o ubicaciones de ventanas, así como el respeto a su entorno, quedaron en el olvido. Las innovaciones que hubo, hicieron que cambiara la manera de pensar de los

diseñadores y ante el uso de estructuras más ligeras que redujo el espesor de los muros y columnas se hizo realidad el poder tener edificios completamente acristalados, como fue el Palacio de Cristal de John Paxton en 1851 (Figura 14), en su momento el edificio de hierro y cristal más grande que se había construido. Pronto, esta misma forma de construir se iba a ver reflejada en estaciones de ferrocarriles y en edificios tanto públicos como privados no solo en Europa, sino también en América; sin pensar que con estos

⁴ Ganador del premio Nobel por su teoría general del efecto de la luz sobre el organismo vivo en 1895.

nuevos materiales y estructuras se tendrían severos problemas térmicos por la pérdida y ganancia de calor en las edificaciones (Figura 15), y posteriormente un gasto excesivo de energía por los mecanismos de calefacción, ventilación e iluminación que se tuvieron que emplear en ellos para poder solucionar y satisfacer las necesidades de los ocupantes.

En los comienzos del siglo XIX y ante la innovación de lámparas incandescentes y fluorescentes, se empezó a perder aún más el uso de sistemas de iluminación natural y de orientación de espacios, para ser la iluminación artificial la principal fuente de luz. Ante estos nuevos conceptos innovadores que proponían la



Figura 15. Excesivo uso de ventanas. Edificio del *Bauhaus*, Alemania, 1926.

modernidad en las edificaciones olvidando la arquitectura de antaño se propusieron formas simples con ausencia de ornamento, con grandes ventanas y con libertad en su diseño, principios que serían retomados por arquitectos alrededor del mundo y favorecerían la reconstrucción después de la Segunda Guerra Mundial.

Es notable la influencia que tuvo la Revolución Industrial, los materiales y sistemas constructivos se utilizaron y fabricaron masivamente alrededor del mundo para generalizar su uso en las edificaciones, trayendo consigo sus aciertos y errores, y ese uso indiscriminado de iluminación artificial que permitía dejar a un lado a la natural y hacer a la humanidad dependiente de ella.

2.2 El uso de la iluminación natural de la arquitectura en México a través del tiempo.

Para hablar de los inicios de este tema, debemos remontarnos a las culturas Mesoamericanas que existieron, las cuales tenían diversos estilos y características, pero coincidían en relacionar sus ideas religiosas y mitológicas a su arquitectura. Al igual que otras civilizaciones, fueron grandes observadoras de su entorno, comprendían a la

perfección los movimientos tanto de la Luna como del Sol y su conocimiento astronómico los hizo crear diversos calendarios para saber cuándo eran épocas de cosecha o de rendir culto a sus principales deidades a quienes les atribuían los fenómenos naturales.

Fue su veneración hacia el Sol como parte fundamental de su concepción religiosa, que



Figura 17. Efectos del equinoccio en la pirámide de Chichen Itza, Yucatán, México.



Figura 16. Observatorio en Xochicalco, Morelos, México.

la mayoría de sus ciudades mantenían una orientación poco usual, ya que éstas, estaban orientadas a unos cuantos grados al oeste con el fin de que sus grandes pirámides se alinearan con la puesta del sol un día del año, y así, celebrar el inicio de cada era, cada 52 años. Muchos centros ceremoniales fueron considerados como marcadores solares debido a su orientación y efectos de iluminación en los equinoccios, como lo es “El castillo” en Chichen Itzá, el cual refleja la luz de su escalinata y da un efecto de movimiento en sus decoraciones como si la serpiente estuviera bajando por ella (Figura 16). En Xochicalco, sitio arqueológico del estado de Morelos, se encuentran cuevas

que hicieron los xochicalcas para diferentes usos, ocupando una de estas como un posible Observatorio que estudiaba los movimientos del Sol, la cual solo es iluminada por

la luz cenital del astro cuando pasa por la abertura ubicada en el techo de la cueva (Figura 17).

Se cree que también culturas Mesoamericanas utilizaron piezas planas de piedra translúcida, como el tecali, para iluminar el interior de sus espacios, ya que en los primeros edificios coloniales como el convento de Huejotzingo, en Puebla, se ve el uso de esa técnica copiada por los españoles. Pero a partir de la Conquista, tanto la arquitectura como la iluminación fueron una copia tardía de lo que se venía haciendo en el viejo continente. Los edificios religiosos fueron a los que se les prestó mayor atención como lo había sido en Europa, un ejemplo de esto es la Catedral Metropolitana, que tardó más de doscientos cincuenta años en ser construida y en donde se mezcló una gran cantidad de estilos arquitectónicos. Y a la llegada del acero y del vidrio, edificios en la Cd. de México se empezaron a alzar siguiendo el mismo estilo que caracterizaba aquel movimiento, y a semejanza de lo que venía ocurriendo en países europeos como en los Estados Unidos, para el siglo XIX el *art nouveau* había hecho renacer los vitrales, lo que generaba un uso excesivo de vidrio en la arquitectura porfiriana⁵.



Figura 18. Teatro Juárez de Guanajuato de 1903.

El Teatro Juárez de Guanajuato (Figura 18) fue la primera edificación en usar piso de vidrio con estructura metálica para iluminar el vestíbulo de la planta baja a través de su piso superior. Pero tal vez los edificios que más sobresalieron en esa época fueron el Teatro Nacional, ahora conocido como Bellas Artes (Figura 19), y el Palacio Postal de

la Ciudad de México (Figura 20); el primero con unas cúpulas sobre su vestíbulo hechas

⁵ Se denomina así a todas las edificaciones que se construyeron durante el gobierno del General Porfirio Díaz.



Figura 19. Teatro Nacional (Belas Artes) en 1939, Ciudad de México.



Figura 20. Interior del Palacio Postal de la Ciudad de México.

de hierro y vidrio; y el segundo teniendo una cubierta de cristal sobre el área de clasificación de correspondencia. Este tipo de cubiertas acristaladas como el uso de vitrales en muro, continuaron durante algunas décadas más, dejando múltiples ejemplos de este tipo de sistemas constructivos; y como en otras partes del mundo, el uso de fachadas de cristal se hizo presente en la arquitectura mexicana siendo en su momento una de las mayores innovaciones contemporáneas que usaban famosos arquitectos del siglo XX.

Sin embargo, arquitectos mexicanos no se dejaron llevar por las nuevas tendencias

arquitectónicas del momento, el arquitecto Luis Barragán es un claro ejemplo de ello, buscó influencias mexicanas y mediterráneas, que caracterizaban sus recorridos por el juego del tamaño de sus áreas y la modulación de luz, logrando zonas muy brillantes y semi-oscuras que revelaban el grado de intimidad de los espacios.

El manejo de luz de Barragán fue una de sus características principales, lograba brindar dinamismo, emoción, intimidad y funcionalidad a cada una de sus obras arquitectónicas; su conocimiento y experiencia en el uso del color y la ventana para manipular los efectos lumínicos naturales lo llevaron a ser reconocido alrededor del mundo y a su propia casa-



Figura 21. Manejo de iluminación natural y el color en el vestíbulo de la casa –estudio del arquitecto Luis Barragán.

restudio (Figura 21) como una de las obras arquitectónicas contemporáneas de mayor trascendencia en el contexto internacional.

Hace algunos años, el tema de iluminación era resuelto prácticamente con la artificial, habíamos olvidado la forma de diseñar de las antiguas civilizaciones que buscaban respetar su entorno y buscar mediante orientaciones la mejor forma de iluminar naturalmente sus espacios. Ante tanta innovación que nos acecha día a día, preferimos la simplificación y

comodidad que nos da el proyectar con equipos que consumen grandes cantidades de energía, dando poca importancia a la ubicación de vanos y poniéndolos más por reglamento que por posible solución a los espacios.

Según el instituto de *Worldwatch* de Washington, así como otras asociaciones, los edificios consumen alrededor del 60% de los materiales extraídos de la tierra y un tercio de los recursos energéticos totales. Son las características del edificio y elementos transparentes como ventanas, domos, etc., los que afectan el comportamiento energético de este, pero no se trata de dejar de usar sistemas artificiales o naturales, o de prescindir de las innovaciones por pensar en las consecuencias energéticas que tendrían. Lo que se debe de buscar es un equilibrio entra ambas formas de iluminar un espacio, de entender el entorno y respetarlo como se venía haciendo hace siglos, y proponer nuevas

técnicas de iluminación natural y protección solar basándonos en los diferentes estudios que se han venido haciendo alrededor del mundo.

Tal vez uno de los mayores retos es el aumentar y fomentar el uso de energía renovable en lugar de la energía eléctrica, con esto, podríamos mejorar considerablemente la calidad del medio ambiente y por ende nuestra calidad de vida. En el siguiente capítulo, se estudiara de cerca la situación actual del consumo energético en iluminación, para entender las ventajas que nos traería el usar sistemas de iluminación de alta eficiencia en espacios desfavorables en vez de usar iluminación artificial durante el día.

CAPÍTULO 3

SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA ILUMINACIÓN

3.1 El cambio climático y sus consecuencias

3.2 La dependencia energética. Consumo y producción

3.3 Situación energética actual a nivel global.

3.3.1 Energía Primaria y su Consumo en el Mundo

3.3.2 Patrón de Consumo Regional

3.3.3 Reservas del Petróleo

3.3.4 Los Principales Países Consumidores de Energía

3.4 Situación energética actual de México

3.4.1 Consumo Nacional de Energía

3.4.2 Consumo de Energía Nacional por sectores

3.4.3 El consumo Nacional de Energía Eléctrica

3.4.4 El potencial de México en energías renovables

3.5 Consecuencias medioambientales del consumo de la energía convencional

3.6 Los efectos de la arquitectura e iluminación en el Cambio Climático. Conclusiones

CAPÍTULO 3 - SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA ILUMINACIÓN

3.1 El cambio climático y sus consecuencias.

En estos últimos años, hemos sido testigos de los incrementos de temperatura, del aumento de nivel del mar y de los diversos fenómenos naturales que han azotado a regiones de todo el planeta. Y, ¿a qué se deben estos cambios?, es bien sabido que la Tierra absorbe la radiación solar para posteriormente redistribuirla por mareas y circulaciones atmosféricas en busca de un equilibrio entre el ecuador y los polos; y así poder re-emitir esa energía de nuevo al espacio para buscar la estabilidad de las condiciones y del clima en la Tierra. Pero ante el aumento de concentración de gases de efecto invernadero, tales como el CO_2 , la energía remitida al espacio es regresada a la superficie dejándola atrapada y aumentando el nivel de temperatura de la superficie. A partir de la Revolución Industrial, cuando el hombre comenzó a utilizar combustibles fósiles y favoreció la deforestación y las actividades agrícolas, el aumento de gases de efecto invernadero se incrementó en un 31%, una tasa sin precedente alguno en más de 420 mil años (Anon., 2001). Éste incremento, se reflejó en el aumento de temperatura del siglo XX el cual subió de 4°C a 8°C , teniendo al año de 1998 como el mes más cálido desde que se tienen registros (Chair, 2001) (Figura 22); y de la misma forma, hubo cambio en la actividad de tormentas y huracanes, en zonas de sequía y en las temporadas de cosecha.

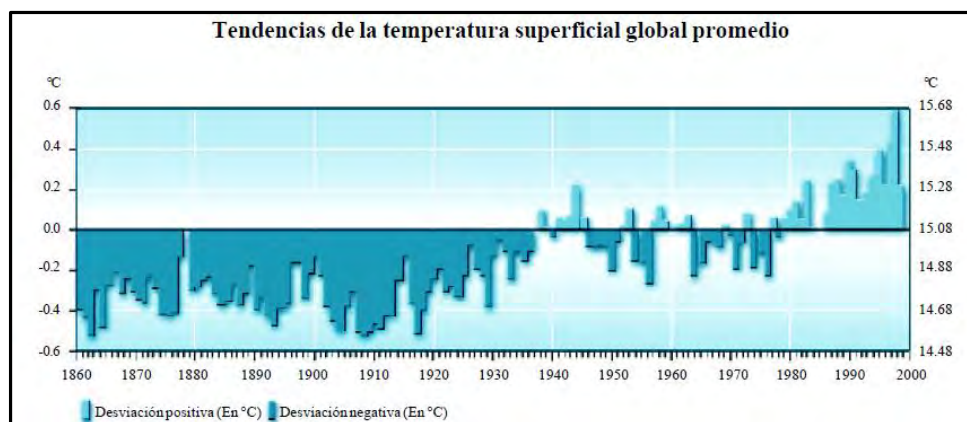


Figura 22. Tendencia de la temperatura superficial global.

Contribuciones al cambio climático. Porcentaje de las emisiones globales de CO₂ acumuladas entre 1990 y 1999 por fuentes industriales y cambios de uso de suelo

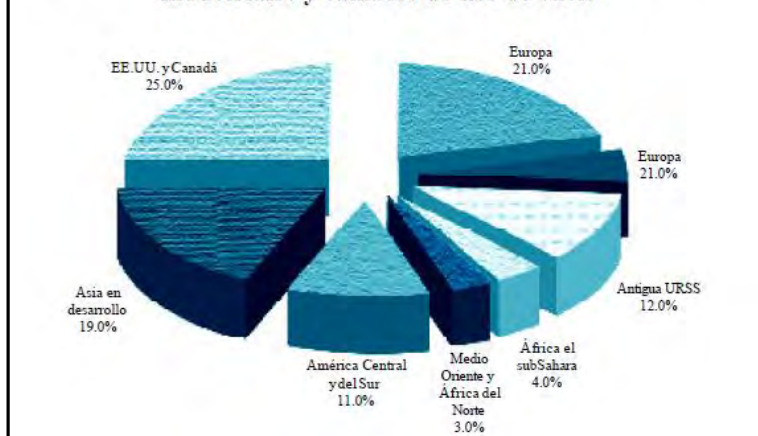


Figura 23. Porcentaje de emisiones globales de CO₂ de 1990 a 1999.

Estas emisiones de gases a la atmosfera, han sido generadas por la actividad del hombre y en países como México principalmente se deben a la tala inmoderada de bosques junto al notable abuso del medio ambiente. Sin embargo, son los países industrializados y de primer mundo quienes producen la mayor cantidad de emisiones de carbono por

quema de combustibles fósiles a pesar de solo albergar al 20% de la población, mientras que países en vía de desarrollo como lo es India con una sobrepoblación (40% a nivel mundial), solo emite el 2% de gases a la atmosfera (Figura 23).

Si bien, la contribución de México no es tan notable con tan solo el 1%, las consecuencias del cambio climático nos afectarían gravemente. El análisis por el *Estudio de país*⁶, menciona que la temperatura aumentaría de 3 a 4° C en el noreste, mientras que 2° C en regiones del sureste. Y como se ha venido viviendo desde hace un par de años, la precipitación podría ser más intensa en zonas pluviales causando inundaciones y afectando la vida urbana (Figura 24); siendo lo contrario en sitios propensos a sequías.



Figura 24. Consecuencia del Cambio Climático en el país.

⁶ El *Estudio de país* se refiere a una serie de investigaciones, básicamente inventarios de emisiones, estudios de vulnerabilidad, escenarios de emisiones futuras de gases de invernadero y tecnologías de mitigación de emisiones de estos gases. En sí, no se publicó como un todo, aunque gran parte de sus resultados aparecen en la primera comunicación de México ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (1997). Por lo mismo, no hay una referencia única para todo el estudio como publicación.

Ante esta situación, los climas templados serían los más afectados modificando por completo los ecosistemas forestales, desfavoreciendo a la agricultura del país teniendo alrededor del 75% un territorio no apto para la producción del maíz, el cual es considerado un alimento básico para la nación.

3.2 La dependencia energética. Consumo y producción.

Actualmente, una de las necesidades indispensables del ser humano se encuentra relacionada con el consumo de energía eléctrica por ser la principal forma de energía usada a nivel mundial. Durante el periodo de 1997-2007, el consumo mundial de energía eléctrica tuvo un crecimiento promedio anual de 3.6% ubicándose al final de ese periodo en 17,056 TWh⁷ (SENER, 2012), el cual se vio impulsado por aquellos países en vías de industrialización que necesitaban con urgencia de equipamiento urbano. China es un claro ejemplo, en los últimos años ha tenido una mayor demanda tanto de energía eléctrica como de combustible, la cual ha reflejado que a pesar de que los niveles de ingreso y urbanización han ido a la alza, el consumo del sector residencial se encuentra rezagado en comparación al del sector industrial.

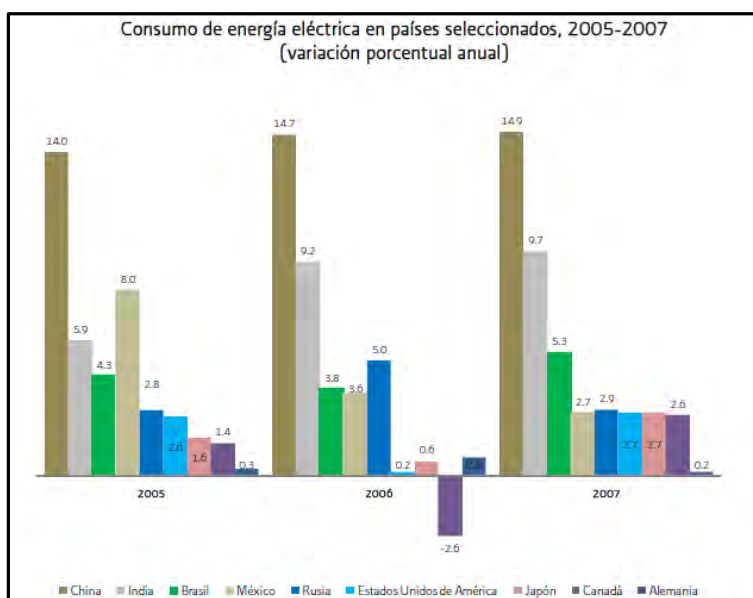


Figura 25. Consumo de energía eléctrica en países de 2005-2007.

Con esto podemos comprender que aunque se piense que los países que tienen una mayor cobertura y calidad en el suministro de energía eléctrica deberían contar con mejor nivel de vida; la realidad es que existen concentraciones urbanas con sobrepoblación que a pesar de tener una alta penetración no cuentan con un

⁷ Terevatio-hora es una medida utilizada para informar las energías producidas por las centrales eléctricas durante un cierto período.

buen servicio, tal es el caso de la Ciudad de México. En la figura 25 se muestran los países con mayor y menor demanda en consumo eléctrico, que en congruencia con su desempeño económico, se nota que países emergentes como China o India, cuentan con mayor crecimiento anual.

Ante la creciente demanda en producción de electricidad, la sociedad se ha visto en vuelta en un problema de incertidumbre que ha traído crisis financieras ante la dependencia de la disponibilidad de fuentes primarias. Tanto el carbón, el gas natural como el petróleo han sido los combustibles con mayor utilización para la generación de electricidad en el mundo, pero el problema radica en que estas fuentes no renovables han subido sus precios con el tiempo, lo cual aunando a las políticas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, han hecho que reduzcan su competitividad y que países que dependen de esas fuentes, se planteen nuevos métodos para la creación de energía (Figura 26).

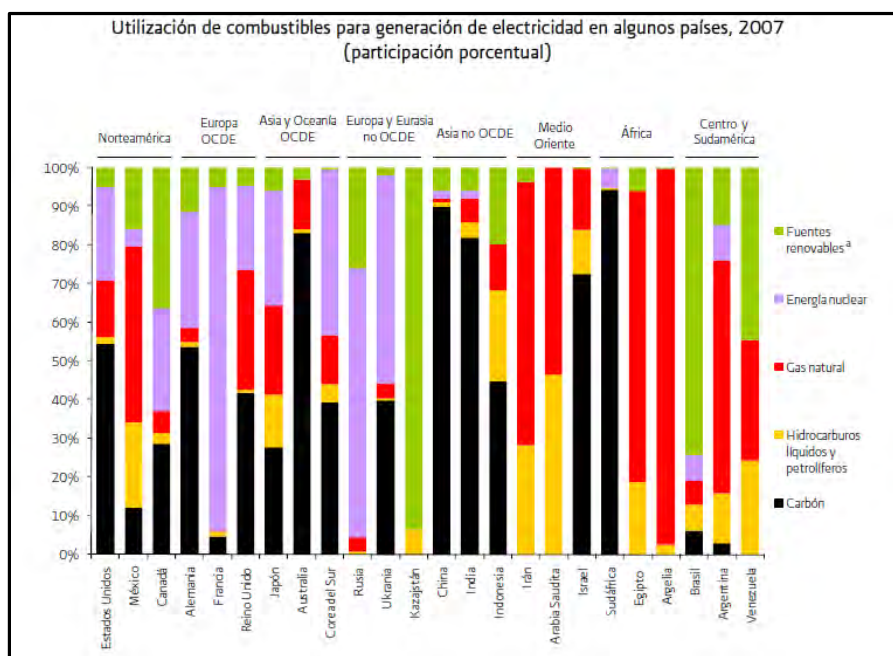


Figura 26. Utilización de combustibles para generación de electricidad en algunos países 2007.

Como se puede ver en la anterior figura, existen países y regiones en donde la generación de energía se concentra en una sola fuente, por lo que una interrupción del suministro podría poner en alto riesgo al país. De ahí nace la importancia de muchos países, incluyendo a México, de establecer una estrategia para poder diversificar tecnologías que fortalezcan sus sistemas eléctricos y que a la par ayuden a disminuir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. En México, la mayor capacidad instalada en el sector eléctrico corresponde al 76.6% que se le atribuye a tecnologías que usan combustibles fósiles como el gas natural, combustóleo, carbón y diésel, mientras el 23.4% restante es para fuentes alternas, de las cuales las hidroeléctricas tienen el 19.4%. Y de toda esta energía eléctrica producida en el país, la gran parte de ella es utilizada en el sector residencial, lo que hace que sea una de las regiones con mayor iluminación artificial en el mundo (Figura 27).



Figura 27. Regiones y países con mayor luminosidad artificial en el mundo.

3.3 Situación energética actual a nivel Global.

En la revisión del BP Statistical Review of World Energy 2013, en donde se analiza la evolución del mercado energético de los últimos años aportando una visión de la situación actual para resolver los interrogantes energéticos que han aparecido a lo largo del presente año, podemos destacar lo siguiente⁸:

* EE.UU. registró en 2012 el mayor crecimiento en la producción tanto de petróleo como de gas natural de todo el mundo, gracias a la creciente producción de petróleo de formaciones compactas tight oil, que es un hidrocarburo no convencional y un ejemplo de la cada vez mayor diversidad de fuentes de energía con las que cuenta el mercado mundial. Con el aumento de la producción de gas natural abaratando los precios en EE.UU., el gas natural desplazó al carbón en la generación eléctrica, lo que supuso que EE.UU. experimentase el mayor descenso de consumo de carbón del mundo. Pero en Europa, donde los precios del gas fueron mayores que en EE.UU., los generadores de electricidad decidieron que el gas siguiera compitiendo con el carbón.

* En el 2012 se produjo la mayor caída anual de la producción mundial de energía nuclear. En Japón, donde la generación eléctrica de origen nuclear casi desapareció tras el accidente de Fukushima de 2011, el aumento de las importaciones de combustibles fósiles, incluido el gas natural licuado (LNG) mantuvo en alerta a este país.

- El informe también reveló la caída del crecimiento global del consumo de energía al 1,8% en 2012, por debajo del 2,4% del año anterior. Debido a la recesión económica y también a que los particulares y las empresas respondieron a los elevados precios siendo más eficientes en el uso de la energía. Las economías emergentes, países no pertenecientes a la OCDE⁹, fueron los responsables del crecimiento de la demanda, siendo China e India ellas solas quienes sumaron cerca del 90% de ese incremento. Hace solamente veinte años, las economías emergentes suponían solamente el 42% del consumo mundial, esta cifra alcanza el 56% en la actualidad.

⁸ Las estadísticas e información se reportan hasta este año en virtud de contar como último BP Statistical Review of World Energy 2013 en el momento en que se comenzó a realizar la presente investigación (Octubre de 2011).

⁹ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

-Por segundo año consecutivo, las interrupciones en el suministro de petróleo de África y Oriente Medio fueron compensadas entre otros por productores de Oriente Medio, con una producción récord de petróleo en Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos y Qatar. Pese a estos aumentos de suministro, los precios nominales promedio del petróleo alcanzaron un nuevo máximo.

-El carbón continuó siendo el combustible fósil de más rápido crecimiento, siendo China el principal consumidor de la mayoría del carbón mundial, por primera vez. Aunque hay que recalcar que el combustible fósil experimentó el crecimiento más débil, teniendo en cuenta su promedio histórico.

-Las energías hidroeléctrica y renovable (junto con el barato gas natural de Norteamérica) compitieron con el carbón en la generación de electricidad. La producción mundial de biocombustibles cayó por primera vez desde 2000 debido a la debilidad de EE.UU., pero las renovables en la generación eléctrica crecieron un 15,2% y batieron su propio record al alcanzar el 4,7% de la producción eléctrica mundial.

-Las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) originadas por el uso de energía continuaron creciendo en 2012, pero a un ritmo más lento que en 2011. El menor uso de carbón contribuyó a que EE.UU. redujese sus emisiones de dióxido de carbono a niveles de 1994, y las emisiones de la UE se redujeron pese a la mayor cuota de mercado del carbón en la generación eléctrica en disminución del gas natural.

Petróleo

-El Dated Brent alcanzó una media de 111,67 USD por barril en 2012, un aumento de 0,4 USD por barril respecto a 2011 (Figura 28).

-El consumo mundial de petróleo creció en 890.000 barriles diarios (b/d), o el 0,9%, por debajo de su promedio histórico.

-El petróleo ha tenido la tasa de crecimiento mundial más débil entre los combustibles fósiles por tercer año consecutivo. El consumo de la OCDE se redujo un 1,3% (530.000 b/d), la sexta reducción en los últimos siete años; la OCDE representa ahora solamente

el 50,2% del consumo mundial, la cuota más pequeña desde que hay registros. Fuera de la OCDE, el consumo creció 1,4 millones de b/d o el 3,3%.

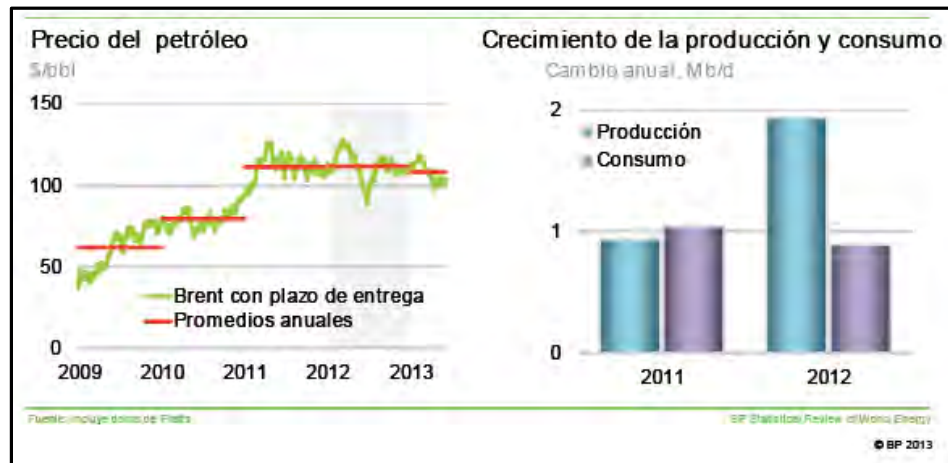


Figura 28. Situación del Petróleo en 2012.

-Nuevamente el crecimiento de consumo mundial registró su mayor incremento en China (+470.000 b/d, +5%), aunque la tasa de crecimiento fue inferior a la media de la última década. El consumo japonés creció en 250.000 b/d (+6,3%), el mayor aumento del crecimiento desde 1994.

-La producción mundial de petróleo aumentó 1,9 millones b/d o el 2,2%. La OPEP representó casi tres cuartas partes del incremento mundial pese al declive de la producción iraní (-680.000 b/d) debido a las sanciones internacionales. La producción libia (+1 millón b/d) casi recuperó todo el terreno perdido en 2011.

-Por segundo año consecutivo, la producción alcanzó niveles récord en Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos y Qatar. Irak y Kuwait también registraron importantes aumentos.

-La producción de fuera de la OPEP creció 490.000 b/d, con aumentos en EE.UU. (+1 millón b/d), Canadá, Rusia y China que compensaron los inesperados recortes de Sudán/Sudán del Sur (hasta quedar en 340.000 b/d) y Siria (-160.000 b/d), así como la reducción de zonas maduras como el Reino Unido y Noruega.

-Las importaciones netas de petróleo de EE.UU. cayeron en 930.000 b/d y están ahora un 36% por debajo de su máximo de 2005. Por el contrario, las importaciones netas de petróleo de China crecieron en 610.000 b/d.

Gas Natural

-El consumo mundial de gas natural creció un 2,2%, por debajo de promedio histórico del 2,7% (Figura 29).

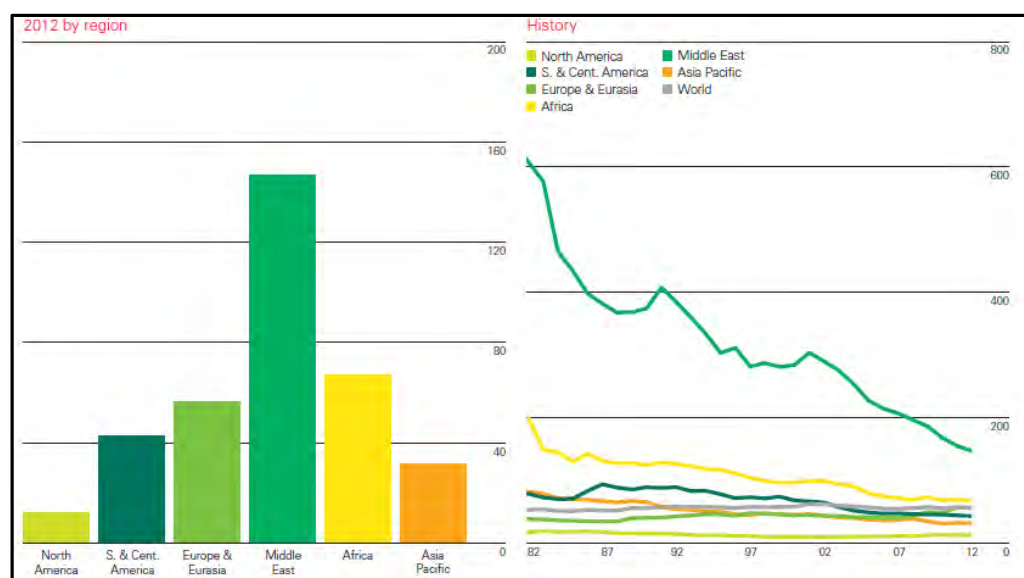


Figura 29. Balance mundial de 2012 e Histórico del Gas Natural.

-El crecimiento del consumo superó la media de la última década en América central y del sur, África y Norteamérica, donde EE.UU. (+4,1%) registró el mayor incremento del mundo. En Asia, China (+9,9%) y Japón (+10,3%) fueron quienes experimentaron los siguientes mayores aumentos del crecimiento. A nivel global, el gas natural supuso el 23,9 % del consumo de energía primaria.

-La producción mundial de gas natural creció un 1,9%. Una vez más, EE.UU. (+4,7%) registró el mayor aumento volumétrico y continuó siendo el mayor productor del mundo. Noruega (+12,6%), Qatar (+7,8%) y Arabia Saudí (+11,1%) también experimentaron importantes aumentos de la producción, mientras que Rusia (-2,7%) experimentó la mayor disminución en términos volumétricos.

-El comercio mundial de gas natural licuado se redujo por primera vez desde que hay registros (-0,9 %), mientras que el comercio por gasoducto creció débilmente (+0,5%) (Figura 30).

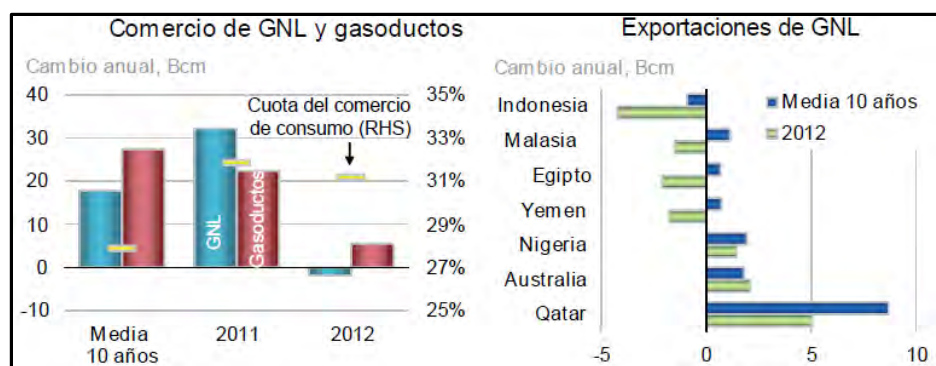


Figura 30. Consumo de Gas Natural en 2012.

Otros Combustibles

-El consumo de carbón creció un 2,5% en 2012, muy por debajo de la media del 4,4% de la última década, pero sigue siendo el combustible fósil que más deprisa crece (Figura 31).

-La producción mundial de carbón creció un 2%, compensando el crecimiento en China (+3,5%) e Indonesia (+9%) la caída en EE.UU. (-7,5%). El carbón alcanzó la mayor cuota de consumo mundial de energía primaria (29,9%) desde 1970.

-La producción mundial de energía nuclear cayó un 6,9%, la mayor reducción registrada por segundo año consecutivo. La producción japonesa cayó un 89%, lo que supone el 82% de la caída mundial. La producción de energía nuclear supuso el 4,5% del consumo mundial de energía, la menor cuota desde

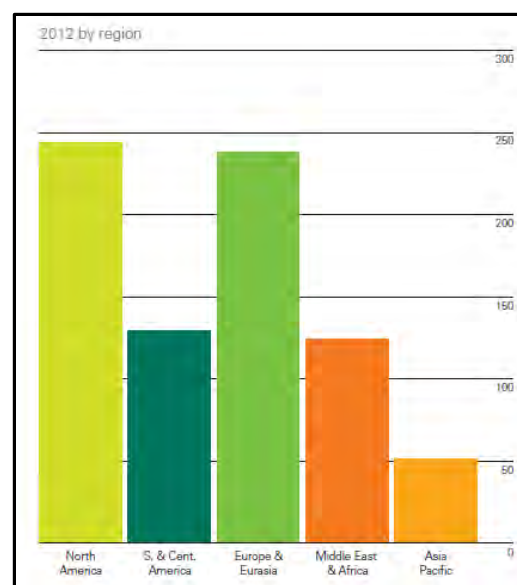


Figura 31. Balance mundial de 2012 del carbón.

1984. La producción hidroeléctrica aumentó un 4,3% por encima de la media, correspondiendo a China todo el incremento neto.

-Las fuentes de energía renovable experimentaron resultados diversos en 2012. La producción mundial de biocombustibles registró la primera caída desde 2000 (-0,4%) debido a una disminución en EE.UU. (-4,3%). Por el contrario, la energía renovable utilizada para la generación eléctrica creció un 15,2%, ligeramente por encima de la media histórica.

-Las formas renovables de energía supusieron el 2,4% del consumo mundial de energía, lo que está por encima del 0,8% de 2002. Las renovables en la generación eléctrica supusieron un 4,7% de la generación eléctrica mundial, batiendo su propio record (Figura 32).

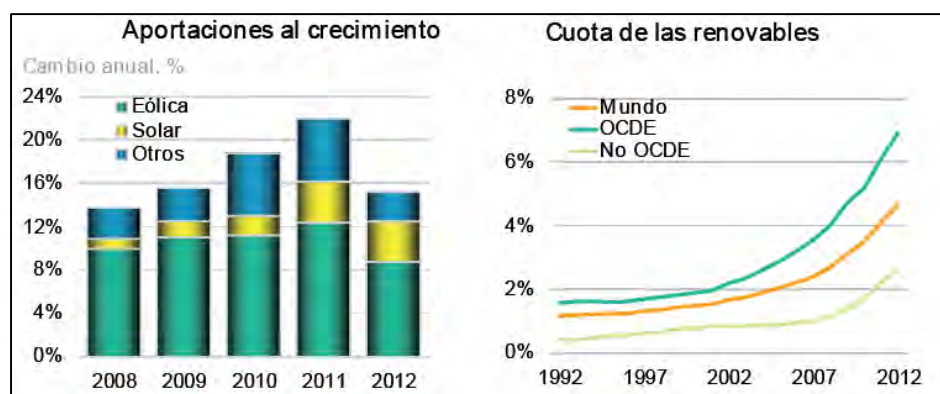


Figura 32. Las energías renovables en la generación eléctrica mundial en 2012.

3.3.1 Energía Primaria y su Consumo en el Mundo

El consumo de energía primaria del mundo creció en 1.8% en 2012, un porcentaje muy por debajo de la media del 2.6% que se había presentado en los últimos diez años, lo que de igual forma ocasiono que países de la OCDE cayeran 1.2%, siendo encabezados por el mayor descenso (en términos volumétricos) del 2.8% en EE.UU.; mientras que el consumo fuera de esta organización pudo crecer un 4.2% pero manteniéndose por debajo del promedio del 5.3% de la última década.

El crecimiento del consumo global estuvo por debajo de la media en todos los combustibles fósiles y la energía nuclear. Por regiones, el crecimiento fue inferior a la media en todo el mundo excepto en África. El petróleo continúa siendo el principal combustible, con un 33,1% del consumo mundial de energía, aunque sigue perdiendo cuota de mercado por treceavo año consecutivo, siendo su actual cuota de mercado la más baja que se ha registrado. La energía hidráulica se quedó con el 6.7% en el consumo mundial de energía en lo que respecta a su generación.

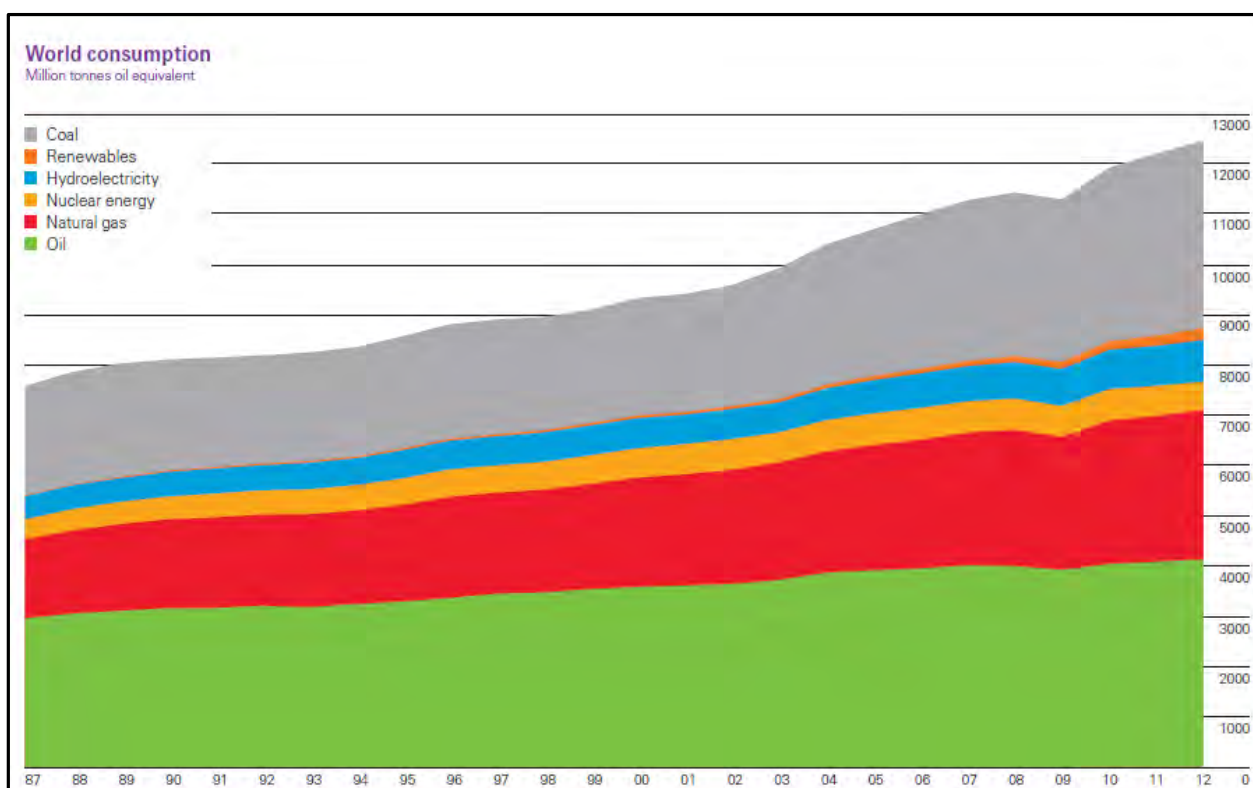


Figura 33. Energía primaria y su consumo en el mundo. (BP, 2013)

3.3.2 Patrón del Consumo Regional

Como en años anteriores, la región Asiática se mantiene como líder en el petróleo y la generación hidroeléctrica, consumiendo la mayor parte de la energía global con un récord del 40% y siguiendo a la alza con el 69.9% del consumo mundial de carbón en el año 2012. En el consumo de gas natural, de energía nuclear y de las energías renovables,

Europa y Eurasia siguen siendo los principales líderes consumidores, siendo en otras regiones el aceite el que domina (Figura 34). La región de Asia-Pacífico con el carbón, es la única que depende de un único combustible de más del 50% del consumo total de energía primaria, siendo el país de China el mayor consumidor de esta fuente primaria como ya se ha mencionado.

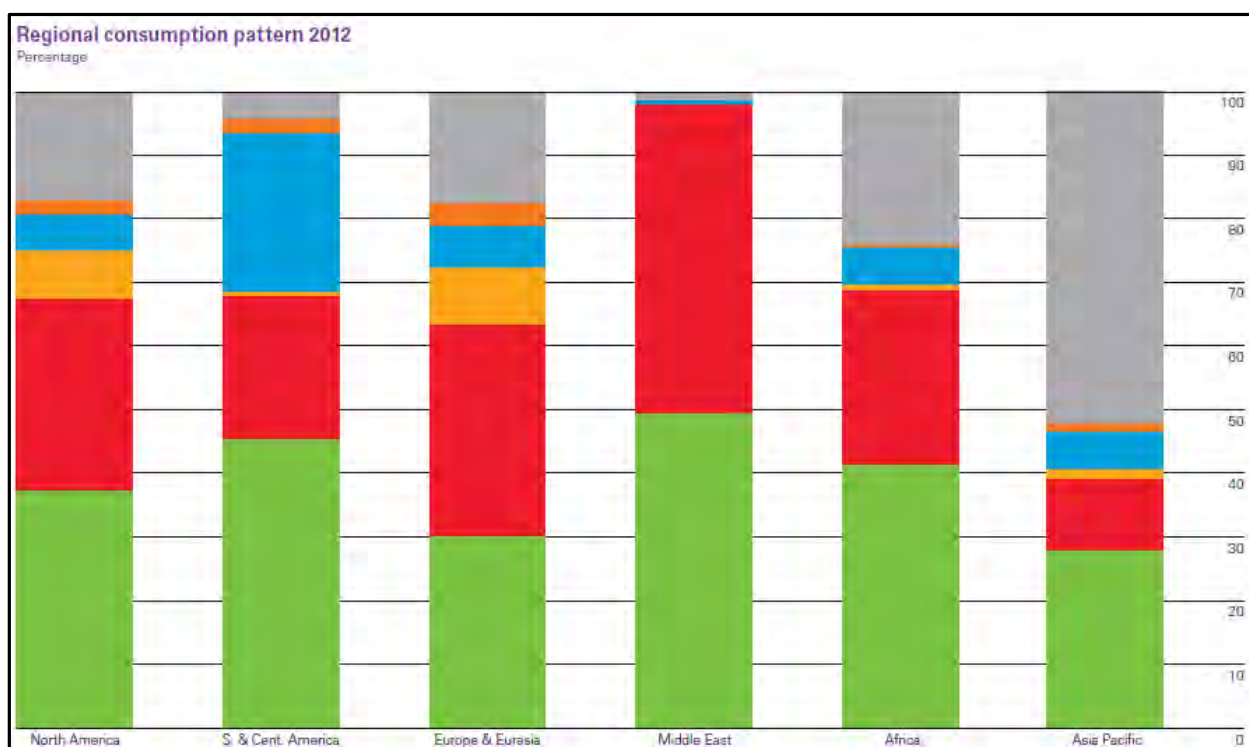


Figura 34. Patrón de consumo de energía (BP, 2013).

3.3.3 Reservas del Petróleo

En 2012, las reservas probadas mundiales de petróleo crudo se ubicaron en 1,668.9 miles de millones de barriles (MMMb). La región de Medio Oriente concentró 48.1% de las reservas mundiales, siendo los iraquíes los mayores aportadores con 6,9 mil millones de barriles. Miembros de la OPEC continúan dominando, manteniendo el 72,6% del total mundial. Las reservas probadas mundiales han aumentado en un 26%, o cerca de 350 mil millones de barriles, en la última década (Figura 35). Los principales países

exportadores de crudo fueron Arabia Saudita, Rusia e Irán. Los principales destinos de dichas exportaciones fueron Estados Unidos, China, Japón e India.

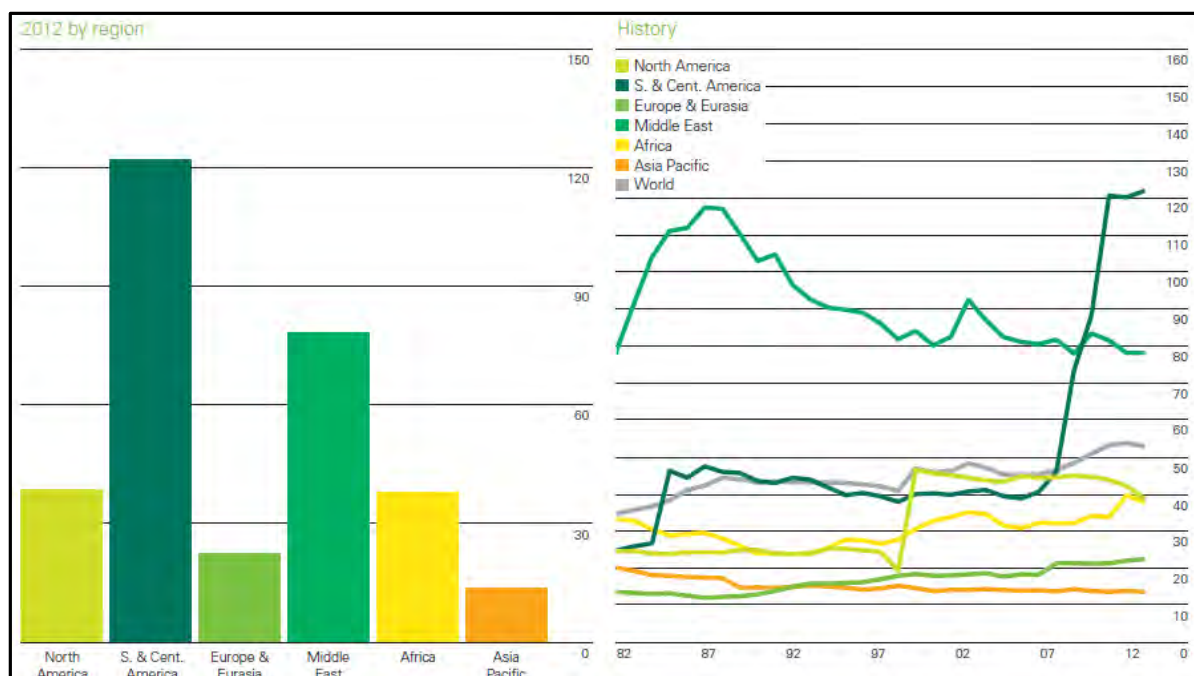


Figura 35. Reservas de petróleo a nivel mundial histórica y por región (BP, 2013).

Las proyecciones de oferta de petróleo crudo presentan una tendencia positiva, asociada a las expectativas de recuperación económica mundial. De 2010 a 2035 se espera un incremento de 1.0% promedio anual. Los países miembros de la OPEP crecerán 1.5% promedio anual, mientras que el resto de países productores esperan un crecimiento de 0.6% promedio anual. Asimismo, para el periodo 2010-2035, se estima un crecimiento en la demanda mundial de crudo de 0.9% promedio anual. En 2035 ésta ascenderá a 109.7 MMbd (SENER, 2012).

3.3.4 Los Principales Países Consumidores de Energía

La relación entre producción y oferta interna bruta mide el grado en que la oferta interna bruta de un país es cubierta con producción nacional. Todos aquellos países o regiones que tienen una tasa mayor que la unidad, satisfacen la mayor parte de sus necesidades

Lugar en PIB per cápita	País
1	Catar
2	Luxemburgo
3	Singapur
4	Noruega
5	Brunei
6	Kuwait
7	Emiratos Arabes Unidos
8	Estados Unidos
9	Swiza
10	Noruega
60	México

Figura 36. Países con PIB per cápita más alto en el mundo.

energéticas con producción propia. Tal es el caso de México, Rusia, Canadá y los países de Medio Oriente, entre otros. En cambio, países como Estados Unidos, China, India y Brasil, además de Europa Occidental y Oriental, presentaron un índice menor a uno, lo que implicó que dependieron mayoritariamente de las importaciones para cubrir la oferta interna bruta. Respecto al PIB per cápita mundial, en 2010 éste promedió 9.9 miles de USD de 2005. El PIB per cápita de México fue 1.3 veces mayor al promedio mundial. En dicho año, Catar, Luxemburgo, Singapur, Noruega y Brunei tuvieron el mayor PIB per cápita (Figura 36).

En cuanto a la intensidad energética, las regiones que mayor uso energético tuvieron por dólar producido fueron África Subsahariana, Asia Central y Medio Oriente. La intensidad energética de Rusia fue 0.35 tep por cada mil dólares americanos de 2000, 2.8 veces mayor a la de México (0.13 tep por cada mil USD). Por su parte, la intensidad energética de Estados Unidos fue 1.3 veces superior a la de México (Figura 37).

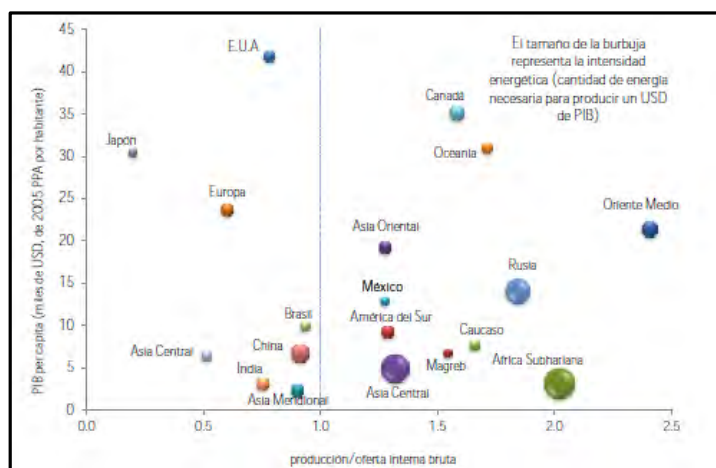


Figura 37. Indicadores energéticos a nivel mundial.

En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país. Países como Alemania, Brasil, Dinamarca, España, Canadá y Reino Unido han desarrollado

tecnologías que les han permitido utilizar diversas fuentes renovables, fundamentalmente para la generación de energía eléctrica y, aunque su participación en la producción mundial aún es pequeña, estas energías representan una opción para el suministro eléctrico mundial (Figura 38).

PAÍS	CARBÓN %	PETROLÍFEROS %	GAS NATURAL %	ENERGÍA NUCLEAR %	ENERGÍAS RENOVABLES %
E.U	55	2	15	25	3
México	12	22	46	4	16
Canadá	29	4	5	25	37
Alemania	55	1	3	28	13
Francia	5	1	0.5	81.5	12
Reino Unido	42	0.5	32	20.5	5
Japón	28	17	20	30	5
China	89	1.5	1.0	2.0	6.5
Brasil	8	8	4.5	4.5	75
Kazajstán	/	6	/	/	94

Figura 38. Utilización mundial de combustibles para la producción de energía.

En las energías renovables, la energía fotovoltaica ha venido a tomar una gran importancia, ya que genera electricidad en más de 100 países y ha sido la tecnología de generación más dinámica en los últimos años. Entre 2001 y 2011, la capacidad fotovoltaica creció a una tasa anual promedio de 44%. Se estima que se instaló una capacidad de 17 GW conectada a la red durante 2010, totalizando de esta manera 40 GW²². El 2011 fue un año en el que el mercado fotovoltaico registró otro año extraordinario de crecimiento. Casi 30 GW de nueva capacidad solar fotovoltaica entró en operación en el mundo en 2012, incrementando la capacidad total instalada mundial en un 74% para alcanzar alrededor de 70 GW. Gran parte de la nueva capacidad se instaló a finales del 2011, motivada por un cambio acelerado en las tarifas, el vencimiento inminente de políticas y una drástica reducción en los precios. La capacidad instalada de energía solar fotovoltaica a finales de 2011 fue 48 veces la capacidad total instalada diez años antes, y los últimos cinco años la tasa media de crecimiento anual superó el 59% para el período comprendido entre 2007 y 2011. La Unión Europea volvió a dominar el mercado mundial de energía solar fotovoltaica, gracias a Alemania e Italia, que en conjunto instalaron el 57% de la nueva capacidad en 2011. En 2011, Alemania fue el país que mayor crecimiento registró en instalaciones fotovoltaicas (10.8 GW) alcanzando una

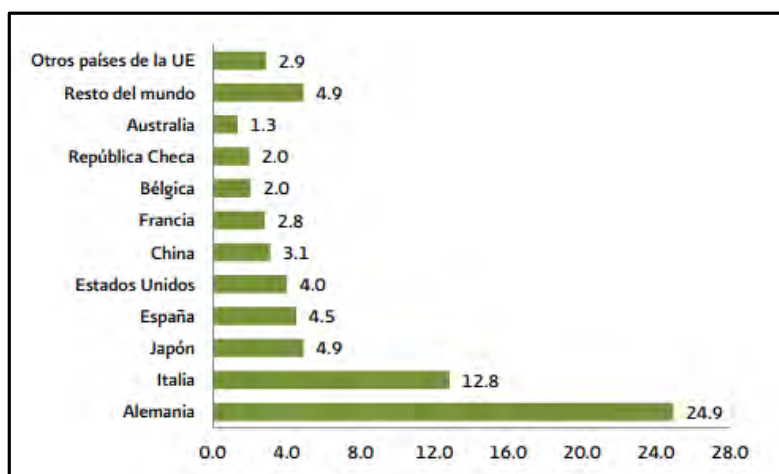


Figura 39. Capacidad instalada de energía fotovoltaica en principales países (GW).

capacidad total de 26.2 GW, cifra que supera la capacidad instalada por los demás países el año anterior (Figura 39). En otros continentes, los principales actores fueron China, con 2.1 GW; Estados Unidos, 1.9 GW; Japón, 1.3 GW, y Australia, 0.8 GW. Japón sigue manteniendo el tercer lugar en capacidad instalada a nivel mundial.

En Estados Unidos de América, la caída de los precios combinada con los incentivos, la eliminación del tope de 2,000 dólares en la inversión federal en crédito fiscal y los vencimientos inminentes de las metas del portafolio para energías renovables duplicaron el mercado, con lo que la capacidad instalada alcanzó casi 4 GW. California sigue siendo el mercado más grande de ese país con 29% del total, seguido por Nueva Jersey con 17% y Arizona con 15%.

3.4 Situación energética actual de México

En 2011 la intensidad energética, es decir, la cantidad de energía requerida para producir un peso de Producto Interno Bruto (PIB) a precios de 2003, fue de 913.5 kJ por peso de PIB producido. Esto implicó un ligero incremento de 0.1% respecto a 2010, y de ese año a 2011, el PIB creció 3.9%, mientras que el consumo nacional de energía incrementó 4.1%. Debiéndose principalmente a un mayor requerimiento de energía en las actividades de transformación (8.7%), lo cual a su vez, estuvo asociado a la mayor generación de electricidad, necesaria para cubrir la incorporación de nuevos usuarios que se conectaron al servicio público de energía eléctrica (Figura 40). Es importante mencionar que el consumo de energía está estrechamente ligado a la actividad económica del país.

El consumo de energía per cápita fue 76.9 GJ por habitante¹⁰ en 2011, 3.3% mayor que 2010, haciendo crecer el consumo nacional de energía un 4.1%. En 2011 el consumo de electricidad per cápita incrementó 6.1% respecto al año anterior, al ubicarse en 2,077.4 kilowatts-hora (kWh) por habitante. Esto fue resultado del incremento en el consumo total de electricidad (6.9%) y de la población nacional (0.8%) (SENER, 2011).

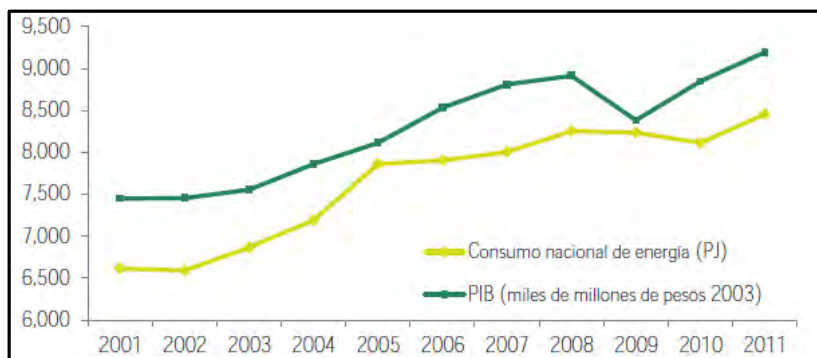


Figura 40. Producto interno bruto vs. consumo nacional de energía.

En cuanto la estructura del sistema energético, como bien se sabe, México se ha caracterizado por la exportación de fuentes de energía primaria sin transformación alguna, como lo es el petróleo crudo. En los últimos ocho años, la producción de petróleo crudo en el país enfrentó una serie de dificultades para su estabilización y aseguramiento, debido a la complejidad y costo de los proyectos de explotación y exploración. Pero en la actualidad PEMEX dispone de diferentes esquemas de contratación para desarrollar capacidades en adicionales de ejecución, en busca de mejorar el desempeño operativo. En 2011, la producción nacional de crudo alcanzó 2,550.1 Mbd, lo que representó una disminución de 1.0% con relación a 2010. El crudo pesado aportó 55.6% del total nacional. No obstante, durante el periodo 2000 a 2011, su producción disminuyó 2.0% promedio anual. En cuanto al crudo ligero, su aportación fue de 31.3% en 2011, con un incremento de 6.0 Mbd con respecto a 2010. Cabe mencionar que en 2002 se presentó una reclasificación de los crudos ligeros y superligeros. Desde entonces, éste último

¹⁰ Equivale a 76 851, 183 KJ por habitante.

presentó una tendencia de crecimiento en su producción, pasando de una participación de 4.9% en 2002 a 13.1% en 2011 (SENER, 2012).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	tmca
Total crudo^b	3,012.0	3,127.0	3,177.1	3,370.9	3,382.9	3,333.3	3,255.6	3,075.7	2,791.6	2,601.5	2,575.9	2,550.1	-1.5
Pesado ^{2b}	1,774.3	1,997.0	2,173.7	2,425.4	2,458.0	2,387.0	2,243.8	2,039.4	1,765.6	1,520.0	1,464.0	1,417.1	-2.0
Ligero ²	733.1	658.7	846.6	810.7	789.6	802.3	831.5	837.7	815.5	811.8	792.3	798.3	0.8
Superligero ²	504.6	471.4	156.9	134.8	135.3	144.1	180.4	198.6	210.4	269.7	319.6	334.7	-3.7

Figura 41. Producción nacional de crudo por tipo (miles de barriles diarios. (SENER, 2012)

En el 2012, las reservas de hidrocarburos probadas y totales mostraron una restitución de 101.1% y 107.6%, permitiendo revertir la declinación de reservas de años previos. Y primera vez se alcanzó una tasa de restitución de reservas probadas superior a 100%, por lo que dicha situación sustenta el futuro de la industria petrolera en México. En los últimos años la producción de crudo se ha logrado estabilizar, incrementando un 27.7% en el superávit de la balanza comercial en 2011.

Entre 2003 y 2012, las reservas probadas de hidrocarburos disminuyeron 4.5% promedio anual y 4.2% las reservas probables. En cambio, las reservas posibles aumentaron 3.8% promedio anual durante el mismo periodo. Entre 2011 y 2012, las reservas probadas disminuyeron 1.3% y las probables 20.4%; aumentando las reservas posibles un 24.6%. La región Norte concentró 42.6% de total de la reservas, la Marina Noreste 28.6%, la Marina Suroeste 16.1%, y la Región Sur 12.7%. Entre 2001 y 2012, las regiones petroleras Marina Noreste, Norte y Sur disminuyeron sus reservas de hidrocarburos remanente totales 3.9%, 1.4% y 4.8%, respectivamente, en contraste, en la región Marina Suroeste se registraron incrementos anuales de 9.5% en promedio desde 2007 y hasta 2012.

3.4.1 Consumo Nacional de Energía

El consumo nacional de energía en el 2011 aumentó un 4.1% respecto al año anterior alcanzando 8,399.02 PJ¹¹ (Figura 42). Este flujo es el agregado de la energía que se

¹¹ Para fines del Balance Nacional de Energía, el consumo nacional de energía es igual a la oferta interna bruta total

envía a las distintas actividades o procesos para su utilización. Se pueden observar tres grandes divisiones: consumo del sector energético, recirculaciones y consumo final (SENER, 2011).

	2010	2011	Variación porcentual (%) 2011/2010	Estructura porcentual (%) 2011
Consumo nacional	8,071.82	8,399.02	4.05	100
Consumo sector energético	2,587.96	2,771.77	7.10	33.00
Consumo transformación	1,525.99	1,659.26	8.73	19.76
Consumo propio	871.35	923.77	6.02	11.00
Pérdidas por distribución	190.62	188.73	-0.99	2.25
Recirculaciones	576.97	569.62	-1.27	6.78
Diferencia estadística	32.76	62.81	91.75	0.75
Consumo final total	4,874.13	4,994.82	2.48	59.47
Consumo no energético	264.24	259.11	-1.94	3.09
Consumo energético	4,609.89	4,735.71	2.73	56.38

Figura 42. Consumo nacional de Energía (Petajoules).

En las actividades propias del sector energético se consumió 33.0% del consumo nacional, 7.1 % se encontró por arriba de 2010. Este consumo se integra por la energía requerida en la transformación de energéticos (59.8%); aquella utilizada en los procesos para obtener energía secundaria a partir de primaria, o en la generación de electricidad. El consumo del sector energético también considera el

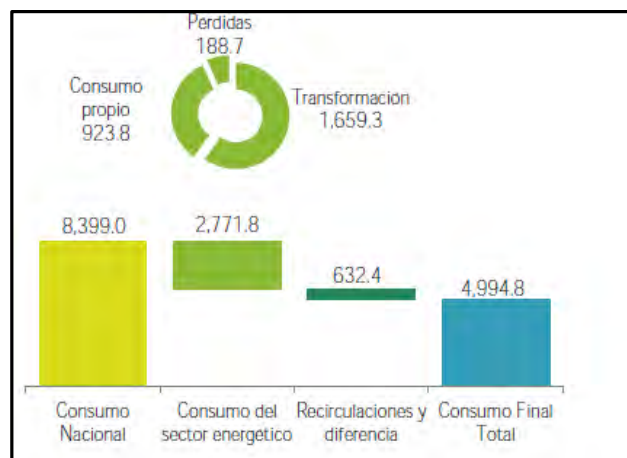


Figura 43. Consumo nacional de energía en 2011 (Petajoules).

consumo propio (33.4%), que es el que absorben los equipos que dan soporte o seguridad a los procesos de transformación; y, las pérdidas por transmisión, transporte y distribución, que representaron menos de 1% en 2011 y disminuyeron 1% respecto a 2010, derivado de los esfuerzos realizados por la CFE para disminuir las pérdidas en el Sistema Eléctrico Nacional (Figura 43).

El consumo de gas natural utilizado para recirculaciones representó 6.8% del consumo nacional en 2011 y disminuyó 1.3% respecto a 2010. En 2011 el consumo final total de energía, que es la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional, representó 59% del consumo nacional, 2.5 % por arriba de lo observado en 2010. El consumo no energético y el energético representaron 3.1% y el 56% del consumo nacional de energía, respectivamente (SENER, 2011).

3.4.2 Consumo de Energía Nacional por sectores

En 2011 el consumo final energético creció 2.7% respecto a 2010, que se ubicó por debajo del crecimiento del PIB (3.9%). El consumo del sector industrial mostró el mayor incremento, con un aumento de 65.34 PJ; es decir, 5% respecto al año anterior (Figura 44).

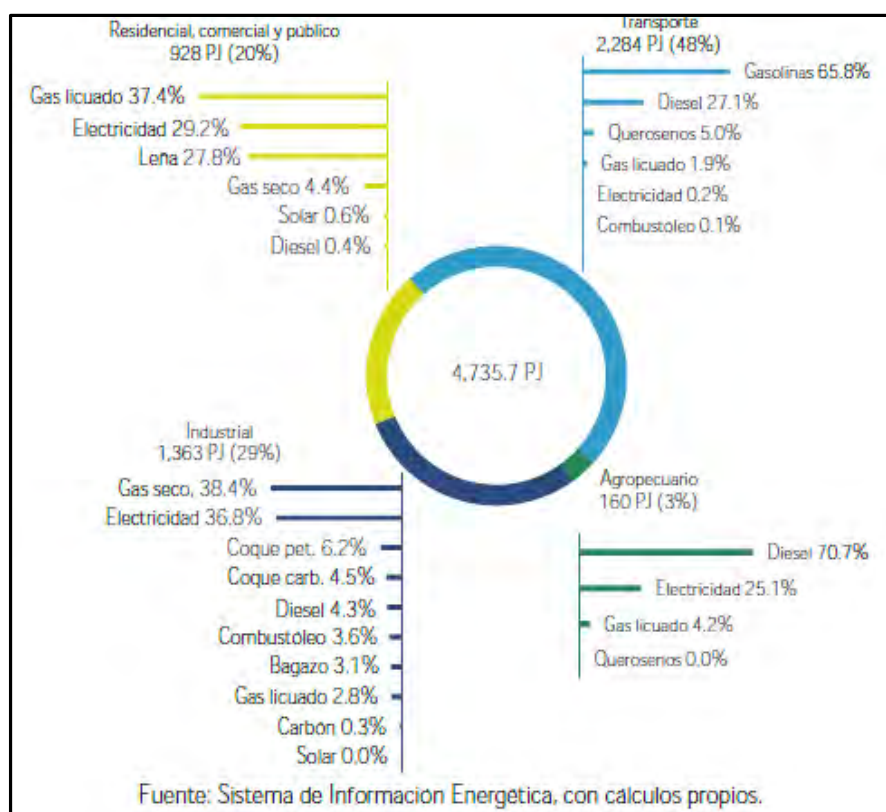


Figura 44. Consumo final por sectores en 2011.

El consumo de energía en el **sector agropecuario**, 160.06 PJ, aumentó 10.1% en 2011 con respecto a 2010. Siendo el combustible más importante el diesel, con un 70.1% del total de energía consumida. El **sector residencial** incrementó 0.5% en 2011 con respecto a 2010, totalizando 768.69 PJ. Ocasionado por un mayor consumo de electricidad en los hogares (6.3%), debido a la incorporación y conexión de usuarios residenciales al servicio de energía eléctrica en el área central del país. También en el 2011 se observó una disminución de 2.3% en el consumo de gas LP en los hogares, por la expansión del uso del gas natural en zonas urbanas del país que hoy tienen acceso al mismo, las mejoras en los estándares de eficiencia de los calentadores de agua, la preferencia por el uso del horno de microondas, la sustitución de estufas y la introducción de paneles solares.

El consumo de energía en el **sector comercial** aumentó 1.8% respecto a 2010. El PIB comercial, de servicios y otras actividades terciarias creció 5.9% de 2010 a 2011. Finalmente, el consumo del **sector público**, el cual considera la electricidad utilizada en el alumbrado público, bombeo de agua potable y aguas negras, creció 4.7% en 2011. Esto fue resultado principalmente del incremento de 8.0% en el consumo de electricidad para bombeo de agua potable y aguas negras de servicio público

El **sector transporte** totalizó 2,283.98 PJ en 2011, 1.7% mayor a 2010. Siendo el incremento resultado del crecimiento en el parque vehicular (3.0%¹²), la mayor importación de vehículos usados, la política de precios administrados, así como el incremento en el número de créditos para adquirir vehículos nuevos y usados. Tan sólo entre de 2010 a 2011, se otorgaron 169,077 créditos para la compra de autos

El **sector industrial** es el segundo mayor consumidor de energía en el país, durante 2011 absorbió 28.8% del consumo energético total. Tal consumo mostró un crecimiento de 5% respecto al año anterior, para ubicarse en 1,363.42 PJ (SENER, 2011).

¹² Fuente: INEGI. Considera los siguientes vehículos de motor registrados en circulación: automóviles, camiones para pasajero y camiones y camionetas de carga.

3.4.3 El consumo Nacional de Energía Eléctrica

En 2011, el consumo nacional de energía eléctrica alcanzó 229,318 GWh, lo que representó un aumento de 7.2% con relación a 2010. Este incremento derivó del comportamiento de las ventas internas, con un crecimiento de 7.7% con relación a 2010 y un crecimiento promedio anual de 2.4% para el periodo 2000-2011. A su vez, el crecimiento en las ventas fue resultado de la incorporación, tanto por la regularización como por la conexión de nuevos usuarios, de más de medio millón de nuevos clientes en el área central del país al servicio de energía eléctrica (SENER, 2012).

A lo largo del periodo 2000-2011, los sectores con mayor crecimiento anual fueron el residencial, bombeo agrícola y servicios. El consumo del primero creció 3.5% promedio anual, derivado de la incorporación de nuevos usuarios en la zona central del país. La electricidad demandada para bombeo de agua aumentó 3.0% anual y alcanzó su máximo en 2011. El sector servicios mostró un crecimiento de 2.9% anual durante el periodo de análisis (Figura 45). Así mismo, el sector residencial ocupó el segundo lugar en ventas, con una participación de 26.0% en 2011, donde alcanzó ventas de energía de 52,505 GWh. En el sector comercial las ventas registradas alcanzaron 13,675 GWh mientras que el sector servicios se ubicó en 8,089 GWh. Ambos sectores integraron 10.8% del total de las ventas internas. El sector de bombeo agrícola, con una participación de 5.4% sobre el total, reportó ventas por 10,973 GWh (SENER, 2011).

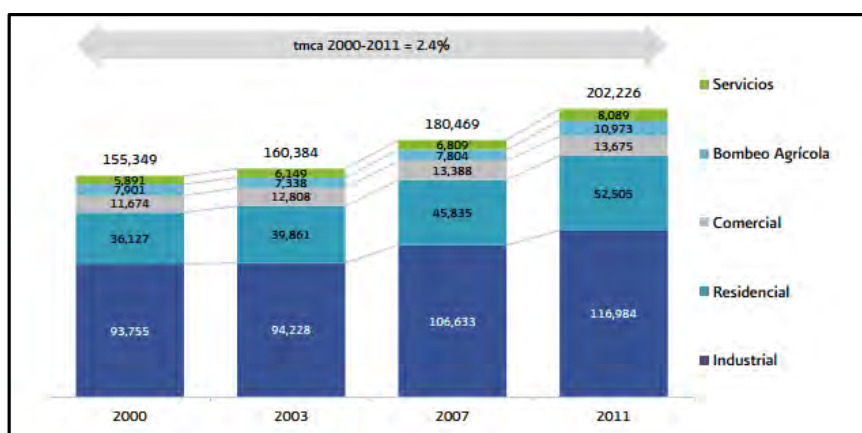


Figura 45. Evolución sectorial de las ventas internas de energía eléctrica en el periodo de 2000-2011. (GWh)

3.4.4 El potencial de México en energías renovables

Diversos estudios sobre la valoración del potencial de energías renovables en el país estiman que México cuenta con recursos suficientes para satisfacer nuestras necesidades energéticas de manera eficiente y segura:

Energía Solar: México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional; esta característica resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar, pues la irradiación global media diaria en el territorio nacional, es de alrededor de 5.5 kWh/m² /d, siendo uno de los países con mayor potencial en aprovechamiento de la energía solar en el mundo.

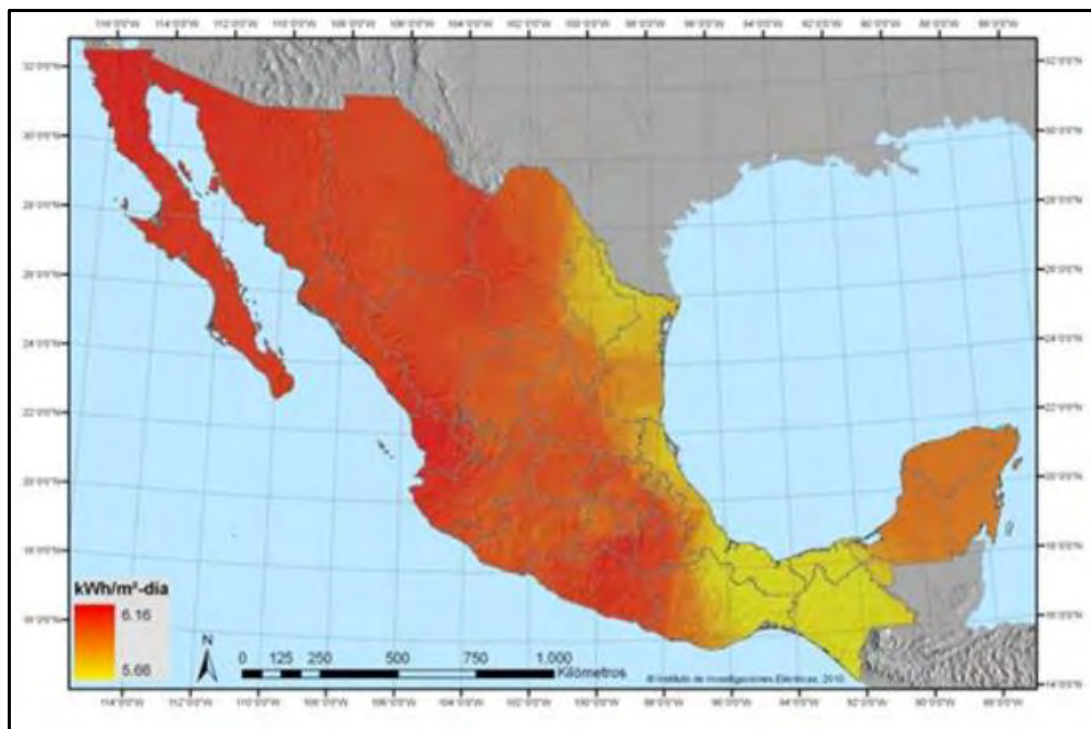


Figura 46. Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana.

De acuerdo con los estudios elaborados se espera que fuera del segmento residencial de alto consumo, comience a existir potencial fotovoltaico competitivo en vivienda a partir de 2017, alcanzando los 6,400 MW en 2020. Dado que la tecnología no es competitiva con los ciclos combinados y su desarrollo no podría depender exclusivamente del mercado de autoconsumo, será necesario fijar objetivos de desarrollo. La evolución

estimada de la tecnología permite identificar que entre 2015 y 2020 será competitiva para los usuarios residenciales de rango alto, la demanda del SEN en horario punta y las tarifas industriales en media tensión. A partir de lo anterior, se determinó un objetivo alcanzable al 2020 de 1,500 MW, cuyo desarrollo ordenado y visible permitiría obtener: un impacto en el PIB de 31.4 miles de millones de pesos; 12,400 empleos directos e indirectos, ingresos tributarios por hasta 2.6 miles de millones de pesos; capturar hasta el 2% del potencial de abatimiento de emisiones; y, reducir hasta en 2% las pérdidas por transmisión y distribución en el SEN. Otros de los impactos esperados de dicha penetración serían la reducción en la demanda pico de los usuarios que están siendo abastecidos por la tecnología y la contribución a las iniciativas de investigación y desarrollo vigentes en el país sobre la tecnología (SENER, 2012).

Energía Eólica: el potencial eólico aprovechable se ha estimado que podría alcanzar los 50 000 MW. Una evaluación realizada con imágenes satelitales en el Istmo de Tehuantepec arrojó un potencial de cerca de 10000 MW, incluyendo posibles instalaciones en el mar. De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para la Asociación Mexicana de Energía Eólica, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se partió de la base de un potencial eólico nacional de 50,000 MW para factores de planta de al menos 20%, a partir de la información y tecnologías vigentes (Figura 47). Además, se consensuó que existe un potencial competitivo de 12,000 MW eólicos que pudieran ser desarrollados en el país hacia el 2020 dados los escenarios de precios de gas natural vigentes. A partir de este potencial competitivo, se cuantificó que se podría tener un impacto estimado en el PIB de 167 miles de millones de pesos, así como impactos por otros 31 mil millones de pesos asociados con la renta de terrenos y desarrollo de infraestructura de transmisión. Dicha capacidad permitiría también reducir hasta en un 17% las importaciones diarias de gas natural hacia el 2020 sin afectar los márgenes de reserva del SEN, capturar entre el 8 y el 15% de las emisiones evitadas de CO² estimadas para el mismo periodo y generar hasta 48,000 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional (SENER, 2012).

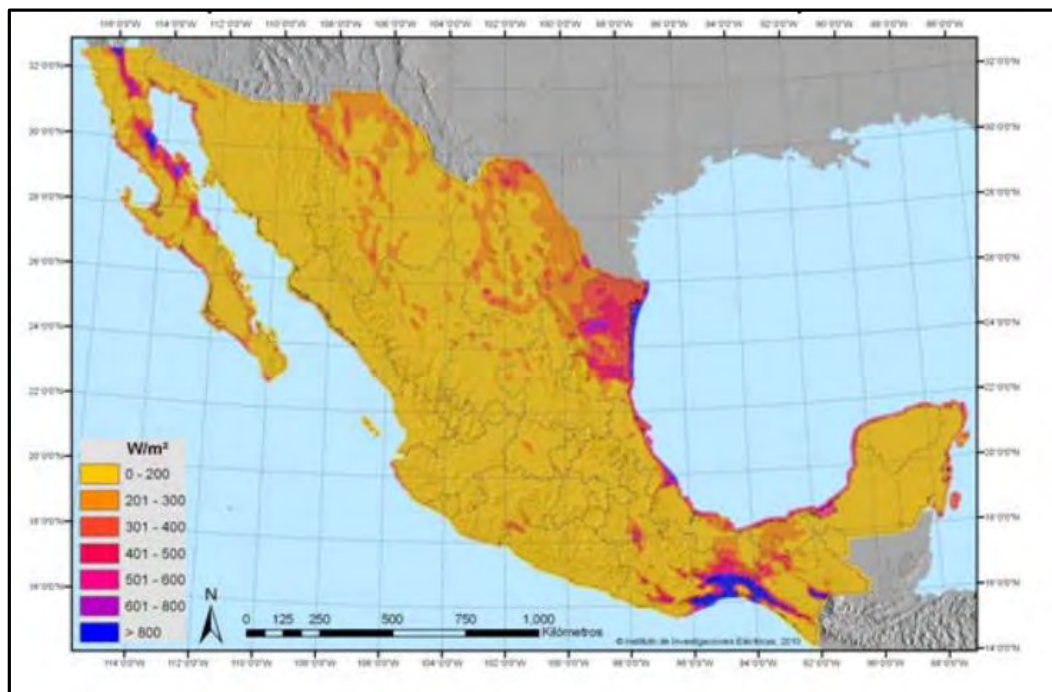


Figura 47. Densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en la República Mexicana.

3.5 Consecuencias medioambientales del consumo de la energía convencional

Como se ha venido hablando en los anteriores capítulos, tanto la producción como el uso de energía, junto con otros factores son la principal causa de los gases de efecto invernadero que ocasionan el cambio climático. La lógica sería tratar de reducir el consumo energético que a nivel mundial se tiene, tratando de impedir aquellas actividades que perjudican el medio ambiente y son consecuencia de diversas amenazas que en la actualidad son impactos irreversibles, presentándose de manera más inmediata de lo que hubiéramos podido imaginar.

A continuación se pone una recopilación de los principales puntos del 5° informe de la primera entrega de evaluación del Panel Intergubernamental de Naciones Unidas para Cambio Climático (IPCC) presentado el 27 de septiembre de 2013¹³:

¹³ Disponible en: <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/image/Banner/Qu%C3%A9%20dice%20el%20IPCC.pdf>

- El cambio climático está causado por la actividad humana y se puede detectar ya en todo el mundo: Nuestros niveles de emisiones ya han calentado significativamente la atmósfera y los océanos, han derretido los glaciares, aumentado el nivel medio del mar, cambiado los ciclos del agua y aumentado la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos. Además, las emisiones de dióxido de carbono están volviendo los océanos más ácidos quizá más rápidamente que nunca antes en la historia del planeta, algo que constituye una grave amenaza para la vida marina. Los científicos del IPCC son concluyentes: existe un 95% de certeza acerca del origen humano del calentamiento climático desde 1951¹⁴.

-La primera década del 2000 ha sido la más cálida en los registros: A pesar de que las temperaturas medias globales en superficie han aumentado de forma algo más lenta en los últimos 15 años, el calentamiento sigue aumentando y el sistema climático en su conjunto, incluyendo el océano por debajo de 700 m de profundidad, ha seguido acumulando energía durante el período 1998-2010.

-Hay signos preocupantes de aceleración de los impactos: En la última década (2002-2011) la capa superficial de hielo de Groenlandia se derritió seis veces más rápido que en la década anterior¹⁵ y la de la Antártida cinco veces más rápido. La extensión del hielo marino en el Ártico también ha disminuido significativamente más rápido de lo previsto de forma que el Polo Norte, un lugar que estamos acostumbrados a imaginarnos cubierto de hielo de forma permanentemente, podría verse libre de hielo marino en veranos futuros¹⁶.

-Cuantos más combustibles fósiles quememos y más deforestemos peores serán las consecuencias: Hay numerosos impactos que, incluso reduciendo las emisiones de forma inmediata, son ya inevitables, por el potencial que tiene la concentración de gases

¹⁴ WG1, TS, page 39

¹⁵ "There is high confidence that the mass loss of the Greenland Ice Sheet has accelerated since 1992: the average rate has very likely increased from 34 [–6 to 74] Gt yr^{–1} over the period 1992–2001 (sea-level equivalent, 0.09 [–0.02 to 0.20] mm yr^{–1}), to 215 [157 to 274] Gt yr^{–1} over the Period 2002–2011 (0.59 [0.43 to 0.76] mm yr^{–1})." (TS, page 9)

¹⁶ A nearly ice-free Arctic Ocean (sea ice extent less than 106 km²) in September is likely before mid-century under RCP8.5 (medium confidence). This assessment is based on a subset of models that most closely reproduce the climatological mean state and 1979 to 2012 trend of Arctic sea ice cover.

de efecto invernadero actualmente en la atmósfera. Las temperaturas seguirán aumentando, el hielo deritiéndose, el nivel del mar subiendo, el permafrost retirándose y los fenómenos meteorológicos extremos aumentando.

-Manteniendo el calentamiento global por debajo de 2°C se pueden reducir significativamente los impactos: El IPCC ha evaluado cuatro nuevos escenarios posibles para el futuro, uno que mantiene el calentamiento por debajo de los 2°C (con un calentamiento medio de alrededor de 1,5°C para el 2100), uno que es el "business as usual" (si seguimos la tendencia actual y del que podría resultar un aumento de la temperatura alrededor de los 5 ° C para el 2100). La comparación de los escenarios muestra que manteniendo el calentamiento por debajo de 2°C en comparación con los niveles pre-industriales, podemos reducir significativamente los impactos.

-Para mantener el calentamiento por debajo de 2°C las emisiones deben alcanzar su punto máximo y comenzar a disminuir rápidamente en esta década: No queda mucho "espacio" más en la atmósfera para seguir emitiendo sin tener que hacer frente a los peores impactos del cambio climático. Esto significa que si la quema de combustibles fósiles y las emisiones del sector industrial (34Gt en 2011) siguen creciendo un 3,2% al año, como lo hicieron entre 2000 y 2009, casi la mitad de nuestro "presupuesto de emisiones" restante se habrá agotado en poco más de un década¹⁷.

¿Qué podemos retomar de lo dicho por la IPCC?

Es el IPCC quien confirma que el cambio climático es causado principalmente por la actividad humana (Figura 48), el cual se puede detectar ya en todo el mundo. Se destacan los niveles de emisiones que ya han calentado significativamente la atmósfera y los océanos, lo que ha producido el derretimiento de los glaciares, el aumento de nivel medio del mar, y la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos que asechan día a día a comunidades enteras. No solo los países desarrollados son los principales culpables, pero si, los mayores emisores actuales que deberían de

¹⁷ Las emisiones acumuladas de combustibles fósiles para el periodo 2012-2100 compatible con las concentraciones atmosféricas de CO₂ RCP, como deriva de CMIP5 Modelos de Sistemas Terrestres, son 270 (140-410) PgC para RCP2.6 (es decir, proximadamente 990 Gt de CO₂ como valor medio).

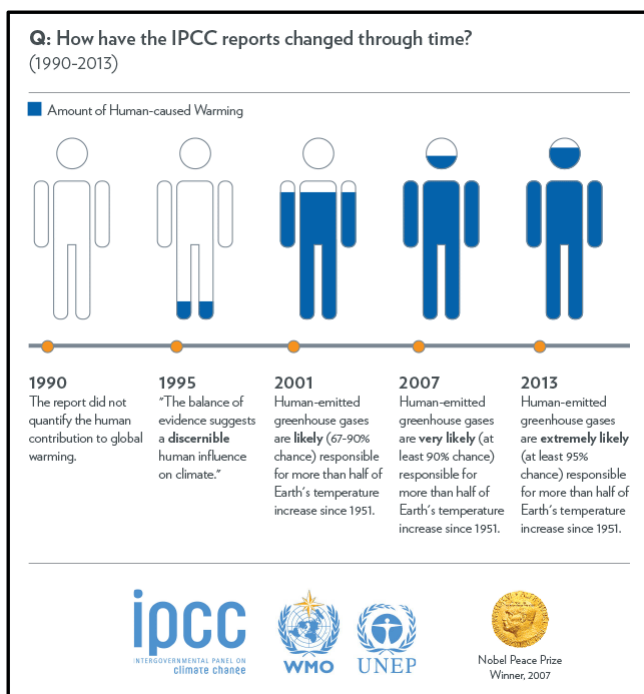


Figura 48. Variación de la visión que el IPCC tiene sobre la influencia del ser humano sobre el cambio climático en sus informes.

comprometerse para alcanzar una reducción mínima de emisiones, así como ser los primeros en acelerar la revolución renovable, ya que si bien las energías renovables son ahora competitivas frente a las energías convencionales en un número creciente de países de todo el mundo, aún no es suficiente.

Pero si es posible evitar un peligroso aumento de la temperatura de 2°C, siendo técnica y económicamente viable. Esta es la meta que los gobiernos han acordado en las negociaciones climáticas de Naciones

Unidas sin embargo, no es hacia dónde nos conduce la acción política adoptada hasta la fecha. Si seguimos el escenario más optimista evaluado por el IPCC (el llamado escenario RCP2.6) es probable mantener el calentamiento por debajo de los 2°C y llegar a 2100 con un aumento de temperatura de 1,5 grados por encima de los niveles pre-industriales.

3.6 Efectos del uso del alumbrado en los edificios y su relación con el Cambio Climático.

Ante la amenaza del cambio climático hemos visto la vulnerabilidad de la sociedad y de los ecosistemas que cada año van en aumento, los impactos de fenómenos climáticos dan muestra de la incapacidad para enfrentar éstas condiciones anómalas, como lo han sido las sequías, las lluvias torrenciales y los huracanes en diversas partes del país. Y a pesar de que el cambio básicamente es causado por una sobre acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, hay procesos de deterioro y de explotación medioambiental que de igual manera lo están generando y afectan al planeta.

La arquitectura y la construcción son actividades que contribuyen al desarrollo social y económico de un país, pero de la misma forma, éstas dos generan un impacto muy importante en el medio ambiente no solo durante su obra, sino también en todo el ciclo de vida del edificio a través de la ocupación del espacio, de la extracción de recursos, y de la generación de residuos y contaminación. Es por eso que debemos entender que el consumo energético ocurre durante toda la vida de las edificaciones, comenzando con la extracción de materia prima, su construcción y el uso de las edificaciones, así como sus posibles modificaciones o demolición.

Por lo que se debe propiciar construcciones que ahorren o mejor aún, produzcan más energía de la que consumen durante toda su vida las edificaciones, desde sus materiales, ya que la extracción indiscriminada de recursos naturales tiene diversas consecuencias negativas sobre la economía y el ambiente. El manejo inadecuado de estos recursos, como la madera, conlleva a efectos indeseables sobre el medio natural como el

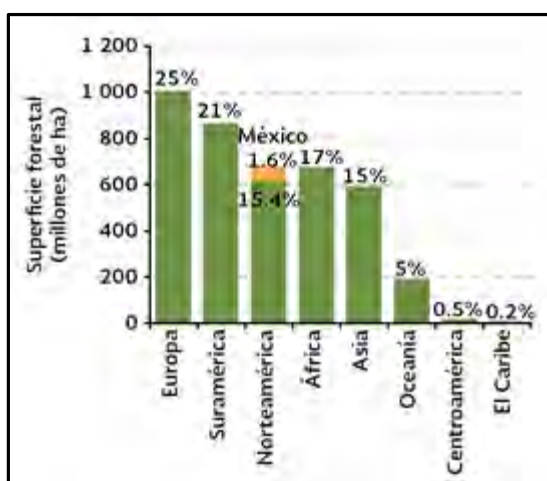


Figura 49. Zonas forestales en diferentes regiones del mundo.

agotamiento de las fuentes de recursos hídricos. Las proyecciones muestran que entre 20% y el 46% de las superficies de los bosques de coníferas y encinos resultarán gravemente afectados entre los años 2020 y 2050. Cerca del 63% de la República Mexicana resultará afectada y las comunidades que presentarán los mayores impactos climáticos serán los matorrales y pastizales en un 77% de su cobertura, aproximadamente (Figura 49) (GREENPEACE, 2010).

Con lo anterior podemos ver que se debería promover la reducción del consumo de materiales por metro cuadrado de construcción, orientando, no sólo a la disminución del uso de recursos vírgenes, sino también hacia la reutilización y el reciclaje tanto de materiales como de edificaciones; ya que en la actualidad el desperdicio o

sobredimensionamiento son causas del incremento de costos y fuentes de contaminación al medio ambiente. Un ejemplo de esto lo tenemos en la iluminación, ya que a pesar de ser uno de los usos más básicos de la energía para la humanidad, hoy, la iluminación artificial se traduce en un 19% del consumo de la electricidad mundial y la baja eficiencia de las viejas tecnologías y el despilfarro en iluminación hacen evidente la necesidad de introducir mejoras en este sector. En la actualidad, la luz incandescente es la que más se utiliza principalmente en el sector residencial, su eficiencia apenas del 5% la hace ser la forma más ineficiente de iluminación eléctrica, así como uno de los mayores contaminantes ambientales.

Una de las soluciones más prácticas para resolver el exceso que se tiene en el uso de iluminación artificial y así poder bajar el consumo en sitios como la Ciudad de México donde la principal fuente de consumo de energía es ésta, es mediante el uso de sistemas de iluminación natural de alta eficiencia. Tecnologías que son importantes y rentables en países templados o cálidos, donde el potencial de utilización de luz natural es alto; es por eso que en esta investigación se decidió abordar tal tema, con el fin demostrar que con estos sistemas se pueden iluminar los espacios en el día de una mejor manera sin tener que recurrir a la iluminación eléctrica como la sociedad está acostumbrada. En el siguiente capítulo hondearemos más sobre el tema de iluminación para así comprender el funcionamiento de este tipo de tecnología.

CAPÍTULO 4

LA ILUMINACION NATURAL EN LA ARQUITECTURA

- 4.1 La luz.
 - 4.1.1 La naturaleza de la luz. Teorías.
 - 4.1.2 Espectro electromagnético.
 - 4.1.3 Espectro visible y los colores espectrales.
 - 4.1.4 Temperatura de Color.
 - 4.1.5 Índice de Reproducción Cromática (IRC).
 - 4.1.6 La importancia del color.
 - 4.1.7 Las fuentes de luz y sus ventajas.
 - 4.1.8 Tipos de Cielo.
 - 4.1.9 Fuentes de luz natural directa, natural indirecta y natural difusa.
- 4.2 Magnitudes y Unidades Fotométricas.
 - 4.2.1 Flujo luminoso.
 - 4.2.2 Intensidad luminosa.
 - 4.2.3 Iluminancia.
 - 4.2.4 Luminancia.
- 4.3 Fenómenos asociados a la propagación de la luz.
- 4.4 Leyes Fundamentales.
- 4.5 Sistemas de Iluminación Natural.
- 4.6 Factores que influyen en la visión.
- 4.7 Confort Lumínico y Visual.
- 4.8 Normatividad sobre el uso de la iluminación natural.
 - 4.8.1 Normas Técnicas Complementarias del Reglamentos de Construcciones del Distrito Federal.
 - 4.8.2 Normas de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social.
 - 4.8.3 Niveles Internacionales de Iluminación Recomendados.
- 4.9 Niveles Medios de Iluminación al Plano de Trabajo Recomendados para la República Mexicana por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII).
- 4.10 Leadership in Energy & Environmental Design.
- 4.11 Illuminating Engineering Society.
- 4.12 Conclusiones.

CAPITULO 4 – LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA

Durante siglos, la luz natural fue la principal fuente de iluminación para los seres humanos, y debido a eso, la arquitectura tuvo que buscar la mejor manera de iluminar sus espacios mediante la orientación de éstos. Fue antes del siglo XIX que comenzaron a aparecer las primeras lámparas de combustibles fósiles como el gas, para que a principios del siglo XX éstas fueran sustituidas por lámparas de energía eléctrica; y ante esta nueva tecnología que generaba fuentes artificiales de luz se fueron perdiendo los conceptos de iluminación natural que se tenían en la arquitectura, haciendo que solo mediante obras maestras en la actualidad recordemos y apreciemos ésta forma de iluminar y el carácter dual que tiene el manejo de luz. Es por eso que su uso en edificaciones se puede estudiar de diferentes puntos de vista, uno referido al arte y a los sentimientos, y otro enfocado a la ciencia y su funcionalidad.

4.1 La luz.

La luz es un tipo de radiación de onda electromagnética que está compuesta por partículas energizadas llamadas fotones¹⁸ que hacen posible la visión al ojo humano, siendo la frecuencia de la onda la que determina su color.

4.1.1 La naturaleza de la luz. Teorías.

A lo largo de la historia muchos seres humanos han intentado explicar lo que es la luz, fueron los griegos los primeros en postular sus teorías místicas sobre tal fenómeno, pero también quienes dieron los conceptos de reflexión y de la propagación rectilínea de la luz. En siglos posteriores al XVI se produjeron grandes avances en óptica, siendo lo más destacable la ley de Snell (o también llamada ley de Snell-Descartes), la cual, explica los fenómenos de refracción de la luz. Fue a finales del siglo XVII cuando aparecieron las primeras teorías científicas.

La **Teoría Ondulatoria** fue propuesta por Christian Huygens, quien supuso que la luz era un fenómeno ondulatorio que se propagaba por un medio ideal al que llamó éter, se basó

¹⁸ El fotón es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético.

en su observación al cruce de dos haces de luz, los cuales se atravesaban el uno al otro sin perturbarse entre ellos. Su teoría resultó exitosa al poder explicar las leyes de reflexión y de la refracción dado a que la velocidad de propagación era menor en los medios más densos, sin embargo, no logró explicar la propagación rectilínea de la luz que era un pilar básico de la óptica geométrica, así como los fenómenos de sombra y penumbra, ya que de ser cierta se podrían ver los objetos detrás de las esquinas dado que en su teoría las ondas eran capaces de rodear los obstáculos mediante difracción.

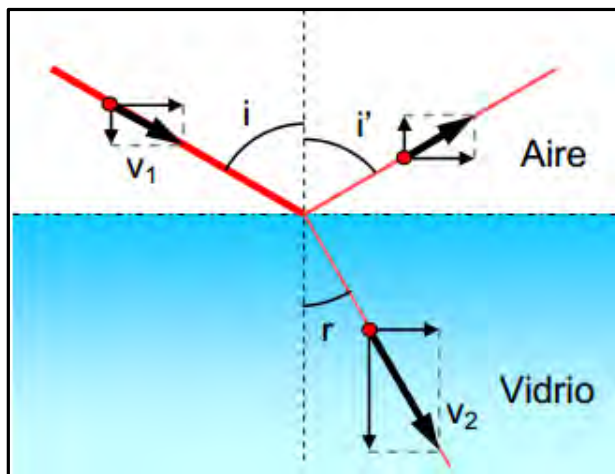


Figura 50. Teoría Corpuscular de Newton.

En su obra Óptica el modelo corpuscular de la luz (**Teoría Corpuscular**), Isaac Newton supone que la luz está formada por partículas materiales, donde ésta no debe presentar ni interferencia ni difracción, pero si ser emitida a gran velocidad por los cuerpos y ser propagada en línea recta constituyendo así los rayos de luz. Por lo que la velocidad de la luz sería más rápida en medios más densos, idea que fracasó totalmente al predecir

que la luz era más rápida en el agua que en el aire (Figura 50). Aun así, la teoría de Newton pudo explicar las leyes de la reflexión y la refracción, y otros fenómenos que antes no se habían podido explicar como el del Arco Iris, esto gracias a su descubrimiento de la descomposición espectral de la luz blanca al atravesar un prisma.

Durante años prevaleció la teoría de Newton, pero gracias a los estudios de los físicos Thomas Young y Augustin Fresnel sobre la difracción de la luz e interferencias luminosas, junto con el físico León Foucault que comprobó que la velocidad de la luz en el agua es menor que en el aire, la teoría ondulatoria se tomó como válida.

Fueron otras teorías las que ayudaron a aceptar aún más la teoría propuesta por Huygens, en 1865 y tras publicar su teoría electromagnética de la luz, J.C. Maxwell confirmó que la luz no era una onda mecánica sino una onda electromagnética ya que

compartían las mismas características y que además, la luz podía propagarse sin necesidad de un medio material (Figura 51).

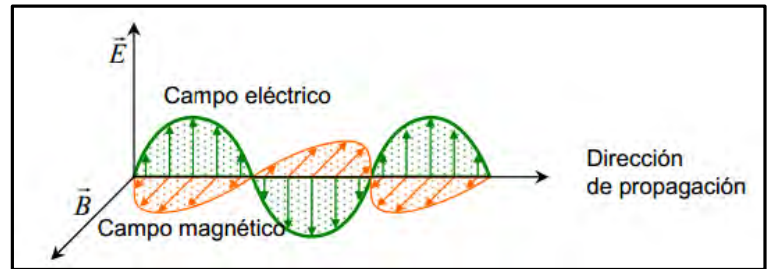


Figura 51. Teoría electromagnética de Maxwell.

Sin embargo, la teoría ondulatoria no explicaba los fenómenos asociados con la emisión y absorción de la luz, ni los efectos fotoeléctricos, fallaba cuando había interacción con la materia; por lo que hubo la necesidad de hacer otra teoría que sí lo explicara. La teoría cuántica de Plank proponía que la energía no se emitía de forma continua, sino de manera discreta por *cuantos*. Obteniendo la siguiente ecuación:

$$E = n * h * f \qquad h = 6.63 * 10^{-34} \text{ J} * \text{s}$$

Ecuación 1. Teoría cuántica de Plank.

Posteriormente y gracias a la teoría de Plank, Albert Einstein pudo explicar el efecto fotoeléctrico y supuso un comportamiento corpuscular para la luz, llamando fotones a los corpúsculos luminosos. Explicó que el fotón al igual que otras partículas lleva consigo energía y momento desde la fuente, pero a diferencia de protones o electrones, no posee masa en reposo; por lo que la intensidad de la radiación luminosa es directamente proporcional al número de fotones presentes.

En conclusión, la luz se puede comportar como una partícula pero dependiendo el fenómeno también podría comportarse como onda, por lo que la luz tiene una naturaleza dual, la cual después fue puesta en manifiesto por diferentes estudios hasta llegar la teoría unificada. Con esto, se puso entender que todas las radiaciones son de naturaleza electromagnética y difieren entre sí por su longitud de onda.

4.1.2 Espectro electromagnético.

Como tal, el espectro electromagnético es un conjunto de ondas electromagnéticas que se producen a partir de la distribución del flujo saliente de energía. Siendo las ondas electromagnéticas, ondas armónicas transversales, compuestas por la oscilación de un campo eléctrico y otro magnético con direcciones perpendiculares, propagándose en el vacío a la velocidad de la luz¹⁹. Cuando una onda electromagnética pasa de un medio a otro de diferente densidad la frecuencia no varía, pero al variar la velocidad lo hace también la longitud de onda, la cual junto a la frecuencia son los que se utilizan comúnmente para definir las diferentes bandas del espectro.

El espectro electromagnético se extiende desde las ondas de menor longitud como son los rayos gamma, los rayos cósmicos y los rayos x, que mantienen una corta longitud de onda pero una elevada frecuencia y energía; y van pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud, pero con baja frecuencia y energía como son las ondas de radio. El rango completo de frecuencias de radiación puede ser expresado en ciclos por segundo o hertz (Hz), pero los valores del espectro están expresados en nanómetros: 1 nanómetro= 1×10^{-9} m.

En la Figura 52 se muestran las radiaciones visibles para el ojo humano que ocupan una franja muy estrecha comprendida entre los 380 y los 780 nanómetros.

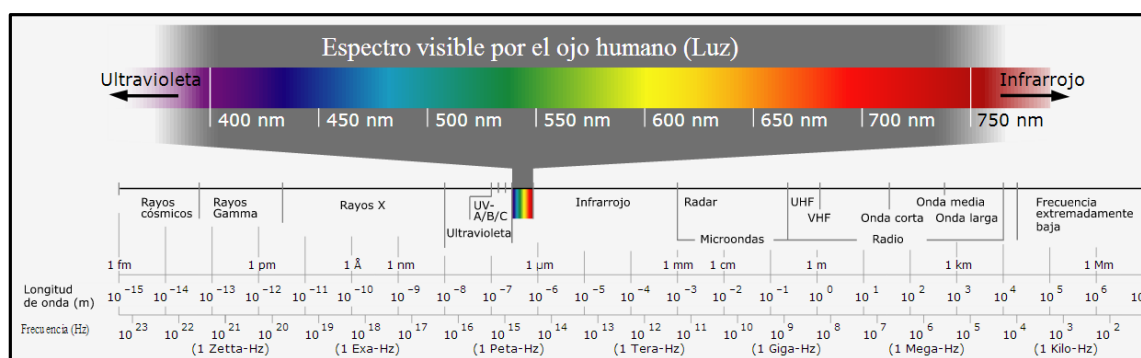


Figura 52. Espectro electromagnético y longitudes de onda.

¹⁹ En 1963 el National Bureau of Standards oficialmente fija la velocidad de la radiación electromagnética en el vacío en 299.792,8 km/s.

4.1.3 Espectro visible y los colores espectrales.

Como se dijo en el tema pasado, el espectro visible es la porción del espectro electromagnético que percibe el ojo humano (longitud de ondas de 380nm hasta los 780 nm), siendo que la luz blanca del espectro es una mezcla de todas las longitudes de ondas visibles.

Normalmente el ojo humano discrimina las distintas longitudes y frecuencias de onda presentes en el rango mencionado. Los azules y violetas corresponden a longitudes de onda cortas mientras que el rojo y el naranja corresponden a longitud de ondas largas, y en el medio encontramos el verde y el amarillo.

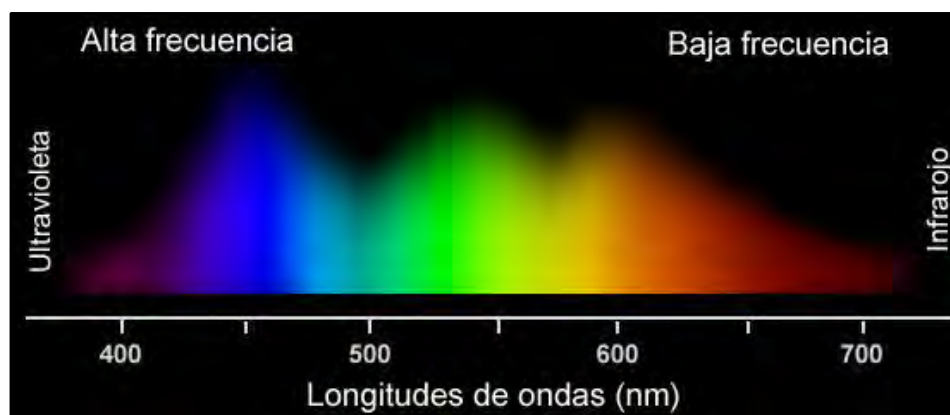


Figura 53. Espectro visible de luz.

4.1.4 Temperatura de Color.

Cuando nos referimos a la temperatura de color queremos indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro a una determinada temperatura (indicada en grados Kelvin²⁰). El cuerpo negro, como cualquier otro cuerpo incandescente, cambia de color a medida que aumenta su temperatura, éste va adquiriendo al principio un tono rojo sin brillo, para seguir con un rojo claro,

²⁰ K = Kelvin. Las temperaturas de la escala Kelvin exceden en 273 °C a las correspondientes a la escala centígrada.

	Temperatura	Fuentes típicas
	1000K	Velas, lámparas de aceite
	2000K	Amanecer muy temprano, lámparas de tungsteno de bajo efecto
	2500K	Bombillas caseras
	3000K	Luz de estudio (continua), "photo floods"
	4000K	Lámparas de magnesio claras (hoy en día obsoletas)
	5000K	Luz día normal, flash electrónico
	5500K	El sol de mediodía
	6000K	Día muy soleado con cielo despejado
	7000K	Cielo ligeramente nublado
	8000K	Cielo brumoso
	9000K	Sombra amplia en un día despejado
	10,000K	Cielo muy brumoso
	11,000K	Cielos azules sin sol
	20,000+K	Sombra amplia en montañas o en un día muy despejado

Figura 55. Temperaturas de color en escala de °K.

Índice de reproducción cromática (Ra)	Cálido <3.300 K	Neutro 3.300-5.000 K	Frio >5.000 K
≥ 90	Halógenas	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
	Fluorescencia lineal y compacta	Halogenuros metálicos y cerámicos	
	Halogenuros metálicos y cerámicos		
80-89	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
	Halogenuros metálicos y cerámicos	Halogenuros metálicos y cerámicos	
	Sodio blanco		
70-79	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos
< 70	Mercurio	Mercurio	
	Sodio		

Figura 54. Tipo de lámparas en función de sus características de temperatura de color e índice de reproducción cromático (IRC).

posteriormente uno naranja, uno amarillo y así, hasta alcanzar finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

Por lo tanto la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura. Define la apariencia subjetiva de color de una fuente de luz, es el color que percibe el observador de la luz (Figura 54).

4.1.5 Índice de Reproducción Cromática (IRC)

El índice de reproducción cromática o IRC (Colour Rendering Index), caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz, tomando como referencia la luz de día. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia, teniendo el 100 como máximo valor de la luz de día y con el que en teoría todos los colores tendrían que reproducirse a la perfección. En otras palabras,

cuando el valor de IRC esté más cercano al 100 se tendrá una mayor fidelidad del color real y mientras más lejano se encuentre la reproducción será más alterada (Figura 55).

4.1.6 La importancia del color.

Se ha comprobado que los colores producen reacciones psíquicas o emocionales en quién los observa. Por lo que emplear los colores de forma adecuada se vuelve un tema importante para arquitectos, luminotécnicos y decoradores.

Cuando se combinan dos o más colores y producen un efecto agradable, se dice que armonizan.

La armonía de colores se origina mediante una elección previa y la

combinación de éstos con el fin de hacer agradable un sitio para el observador. Es por eso que para la iluminación tiene gran importancia tanto el IRC como la temperatura de color, aunque es una lástima que las lámparas con mayor reproducción cromática, los LED'S, no se caractericen por su bajo consumo de energía (Figura 56).



Figura 56. Iluminación con lámparas LED.

4.1.7 Las Fuentes de luz y sus ventajas.

Las fuentes luminosas que existen pueden ser tanto naturales como artificiales. La fuente de luz natural primordial para nosotros es la que produce el Sol, pero ésta luminosidad se puede ver afectada por diversos factores como son las condiciones del cielo, los mismos movimientos de la Tierra y el Sol, los entornos tanto naturales como artificiales, así como la hora del día; todos ellos hacen que la iluminación natural que pueda tener un espacio pueda variar en cuestión de segundos. En la arquitectura también hay que tener en cuenta que las mismas envolventes de los edificios son las que llegan a actuar como

filtros, ya que mediante sistemas de control solar se puede ir graduando la intensidad de luz que penetra al interior de un local (Figura 57).

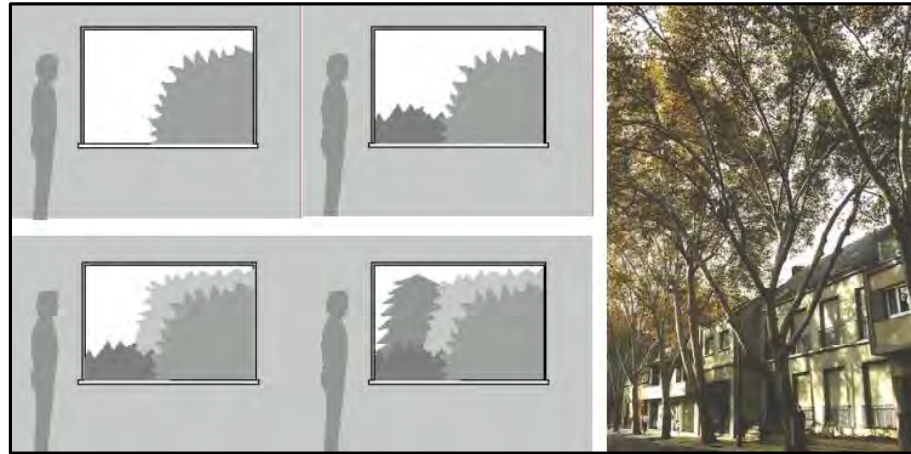


Figura 57. Variación de luz natural que ingresa desde la ventana de una casa debido a las variaciones estacionales.

Por otro lado, la fuente de luz artificial como viene siendo la iluminación eléctrica, juega un papel importante cuando la luz natural desaparece. Su uso controlado presenta una ventaja cuando los efectos lumínicos de cada equipo se conocen y manejan óptimamente cuando la iluminación natural se torna deficiente; aunque en la actualidad el uso incorrecto a horas indebidas del día ha hecho que su consumo se eleve considerablemente, un problema que se mencionó en temas pasados.

Basándonos en estudios y observaciones que se han hecho, podemos afirmar las ventajas que se tienen en las fuentes naturales de luz:

- Aunque la tecnología de las fuentes de iluminación artificial han logrado acercarse y asemejar el espectro de la luz natural, aún no se ha construido nada que pueda igualar las variaciones y el comportamiento de la luz natural.

- Se ha demostrado que la iluminación natural es más favorable para el sistema visual y cardiaco del ser humano, así como los efectos psicológicos que produce en comparación la luz artificial. Además de que la exposición de luz natural durante el día y noche ayuda a ajustar el reloj biológico.

-La iluminación natural puede proporcionar niveles de iluminación más elevados que la artificial en horas de día, además de que produce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctricas, lo que ocasiona que haya menor consumo de energía.

-Está comprobado que la iluminación natural puede aumentar la posibilidad de desarrollar las actividades del ser humano de manera más adecuada y con un mejor rendimiento comparándose con la iluminación artificial, sí se usa de forma correcta.

4.1.8 Tipos de Cielo.

Debido a que el tema central de este trabajo son los sistemas eficientes de iluminación natural, es importante establecer que se considerarán las siguientes condiciones de cielo: Cielo nublado, cielo despejado y cielo parcialmente nublado. Esta clasificación general de tres tipos de cielo es la que se ha utilizada durante mucho tiempo para hacer estudios de iluminación natural, pero en los años noventa los investigadores se dieron cuenta de la gama de posibilidades que había en las condiciones del cielo y que en muchos casos, se presentaban condiciones de cielo muy diferentes a las consideradas por la clasificación general de tres tipos de cielo. Cuando hablamos del cielo se considera que la iluminancia es la cantidad de luz que llega del cielo a la superficie terrestre, mientras que luminancia es la brillantez característica del cielo que es producto de la cantidad y tipología de las nubes, la contaminación y cantidad de partículas suspendidas.

Fue en el año 2003 que una nueva clasificación fue establecida como la estándar para su utilización en estudios de iluminación natural a nivel internacional²¹. El objetivo de esta nueva clasificación es que se cuente con una mayor cantidad de casos de estudio posibles y que estos modelos de cielo sirvan para hacer cálculos de iluminación y la generación de algoritmos que a su vez puedan ser introducidos en nuevas metodologías de cálculo y a los programas de cómputo (Figura 58). Pero para el caso de la Ciudad de México debido a la falta de información sobre la disponibilidad de la luz natural así como de la distribución luminosa del cielo no será posible utilizar la nueva clasificación del CIE,

²¹ CIE, *Spatial distribution of daylight*, CIE central bureau, Viena, 2003.

por lo tanto se utilizará la clasificación de los tres tipos de cielo los cuales se describen a continuación.

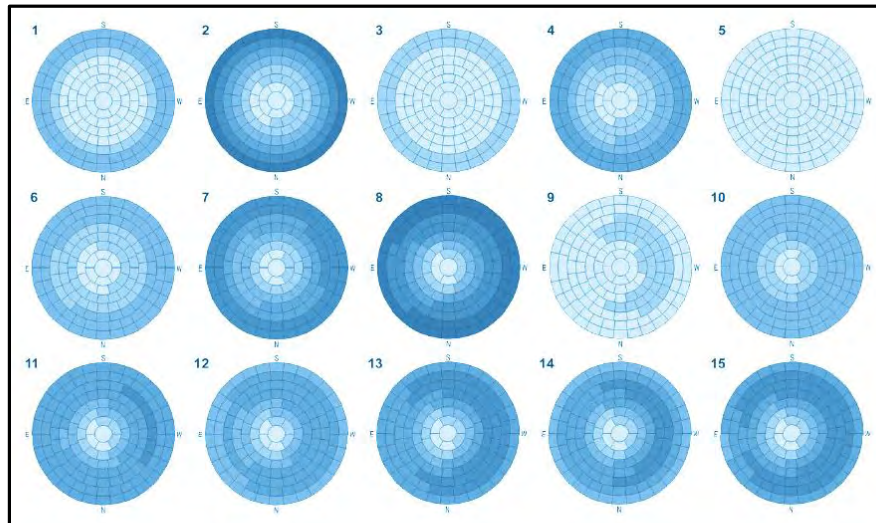


Figura 58. Distribución luminosa de los 15 tipos de cielos estándar (NG, 2007).

NO.	DISTRIBUCIÓN LUMINOSA
1	Cielo cubierto - CIE estándar con degradación abrupta de luminancia hacia el cenit.
2	Cielo cubierto con degradación abrupta de luminancia y brillo ligero hacia el sol.
3	Cielo cubierto con degradación moderada y uniformidad azimutal.
4	Cielo cubierto con degradación moderada y con brillo ligero hacia el sol.
5	Cielo con luminancia uniforme.
6	Cielo parcialmente nublado sin degradación hacia el cenit con brillo ligero hacia el sol.
7	Cielo parcialmente nublado sin degradación hacia el cenit con mayor brillo en la región circunsolar.
8	Cielo parcialmente nublado sin degradación hacia el cenit - corona solar distinguible.
9	Cielo parcialmente nublado con sol obscurecido.
10	Cielo parcialmente nublado con mayor brillo en la región circunsolar.
11	Cielo banco-azul - corona solar distinguible.
12	Cielo claro - CIE estándar con poca turbidez de luminancia.
13	Cielo claro - CIE estándar con atmósfera contaminada.
14	Cielo turbio sin nubes y amplia corona solar.
15	Cielo blanco-azul con amplia corona solar.

Tabla 1. Descripción de los 15 cielos estándar del CIE.

-Cielo cubierto o cerrado: éste tipo de cielo se encuentra cubierto por nubes al menos en un 80% de la bóveda celeste. La variación que se presenta en la iluminancia de este tipo de cielo va de unos cientos hasta varias decenas de miles de luxes, medida que depende del tipo de nubes que cubre el cielo. Ésta condición es la que se presenta en gran parte del año en países como Inglaterra y los del noroeste del pacífico, siendo conocido como uno de los tipos de cielo CIE debido a que fue por la Comisión Internacional de Iluminación como el cielo estándar para efectos de cálculo y diseño de iluminación natural. Se define como aquel que no tiene una distribución uniforme de la brillantez, incrementándose desde el horizonte hacia el cenit en aproximadamente una razón de 1:3 (Figura 59).

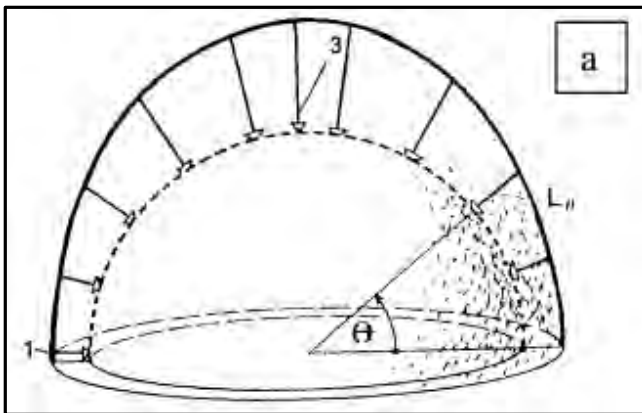


Figura 59. Distribución de luminancias del cielo nublado.

Se puede decir que bajo estas condiciones de cielo cubierto o cerrado, la iluminancia global en planos verticales varía directamente dependiendo de la altitud del sol, independientemente de su azimut, esto se debe al efecto de difusión provocado por el cielo cubierto por las nubes.

-Cielo parcialmente despejado: se puede definir como aquel que está cubierto por nubes en un rango que va del 30% al 80% de la bóveda celeste. No hay forma de expresar matemáticamente la luminancia de un cielo parcialmente despejado debido a su infinita variabilidad, pero para fines de estimaciones y cálculos de iluminación natural se presenta una estimación aproximada de 10% al 15% mayor que la del cielo cubierto, debiéndose al efecto de reflexión y dispersión provocado por las nubes, siendo que la iluminancia en una superficie horizontal exterior no obstruida bajo este tipo de cielos puede variar entre 100.000 lux sin nubes y 10.000 lux con las nubes interceptando el sol.

-Cielo despejado: Para que un cielo se tome en cuenta como despejado la bóveda celeste no debe estar cubierta por nubes en más del 30% de su totalidad. Teniendo dos componentes en la iluminación: el primer componente es cuando llega de forma directa del sol y el segundo componente es cuando surge de la dispersión de los rayos solares al pasar por la atmósfera terrestre. Como en el caso del cielo cubierto, para el cielo despejado, existen modelos matemáticos que describen el comportamiento de los dos componentes.

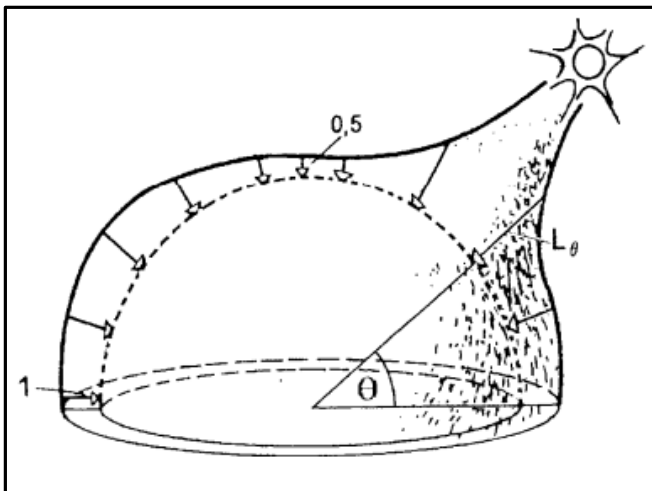


Figura 60. Distribución de luminancia de un cielo despejado.

El valor del componente de cielo es utilizado para hacer cálculos en circunstancias en las cuales no hay incidencia solar directa, como por ejemplo una fachada que presente obstrucción de un edificio y le impida recibir los rayos del sol. En el caso del cielo despejado la relación que existe entre la iluminancia horizontal y la vertical no es tan simple debido a que bajo estas circunstancias la posición

del sol (en altitud y azimut) son factores determinantes, ya que depende del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie vertical (Figura 60).

En un cielo despejado la cantidad de iluminación en planos verticales depende de dos componentes: el directo que es el sol y el difuso que es el cielo. El componente difuso solo es válido para la mitad de la bóveda celeste debido a que una superficie vertical solo puede estar expuesta a la mitad de la luz que llega del cielo. El ángulo de incidencia es un dato importante para fines de cálculos debido a que de él dependen otros valores como el componente de cielo que permite ver la ventana y la transmisibilidad de un cristal u otro material. El componente del cielo que permite ver la ventana es un dato fundamental para poder hacer estimaciones de los niveles de iluminación en el interior de los espacios.

4.1.9 Fuentes de luz natural directa, natural indirecta y natural difusa.

Se llama **luz solar directa** a la porción de luz natural que proviene directamente desde el sol e incide en un lugar específico, caracterizándose por su cambio continuo de dirección, su temperatura de color, su probabilidad de ocurrencia y la iluminancia que llega a producir en una superficie horizontal que no presente obstrucciones. La **luz solar indirecta** es la que por medio de reflexión llega a un espacio, esta se puede dar generalmente en muros, pisos o plafones; como antes se mencionó los egipcios usaban la reflexión por medio de espejos como sistema de iluminación en sus espacios. Por último, la **luz natural difusa** es aquella que presenta aproximadamente la misma intensidad en diferentes direcciones. Ésta es emitida por la bóveda celeste diurna, donde ocurren múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar que son consecuencia tanto de nubes como de elementos terrestres y atmosféricos.

4.2 Magnitudes y unidades fotométricas.

Para poder hablar de iluminación sabemos que necesitamos una fuente productora de luz, así como un objeto o lugar donde iluminar. Por eso es importante saber las diferentes magnitudes con las que se miden dicho fenómeno. En la siguiente tabla se muestra un resumen de sus principales características, para posteriormente hablar a detalle de ellas.

Denominación	Símbolo	Unidad	Definición de la Unidad
Flujo Luminoso	ϕ	Lumen (lm)	Flujo luminoso de una fuente de radiación monocromática, con una frecuencia de 540×10^{12} Hertzio y un flujo de energía radiante de 1/683 vatios.
Intensidad Luminosa	I	Candela (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que irradia un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido unitario (1 estereorradián)
Iluminancia	E	Lux (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de un m ²
Luminancia	L	Candela por m ²	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie (1 m ²)

Tabla 2. Resumen de las principales características de las magnitudes fotométricas.

4.2.1 Flujo luminoso.

Se entiende como la luz emitida por una fuente o que es recibida en una superficie, en otras palabras, es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible (Figura 61). La unidad para medir el flujo luminoso es el lumen (lm), y un lumen es la cantidad de luz emitida en un ángulo sólido por una fuente de una candela.

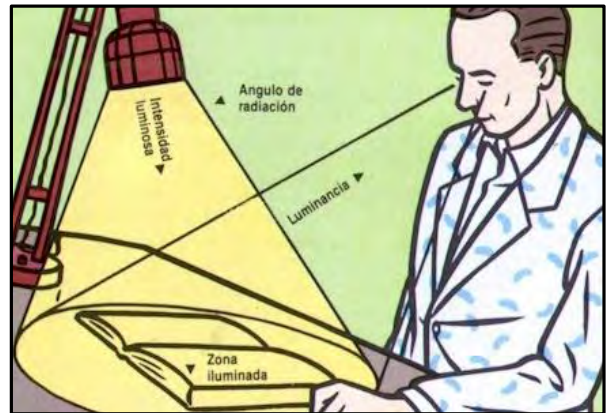


Figura 61. Flujo luminoso.

Éste parámetro nos da una idea de la cantidad de luz que ha emitido una fuente en todas sus direcciones, siendo capaz de afectar el sentido de la vista, dado a que el ojo humano no es igualmente sensible a todos los colores.

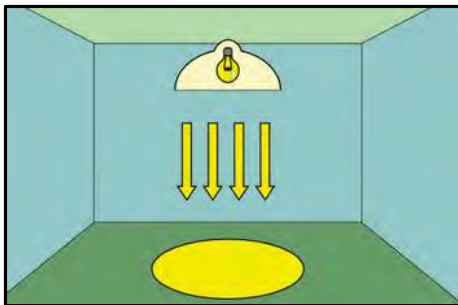


Figura 62. Intensidad luminosa.

4.2.2 Intensidad luminosa.

Se le define como la capacidad de una fuente para emitir la luz en una dirección determinada, siendo su unidad de medida la candela (cd). La luz viaja radialmente hacia afuera en líneas rectas desde una fuente que es pequeña en comparación con sus alrededores. Para una fuente de luz de ese tipo, el flujo luminoso incluido en un ángulo sólido Ω permanece igual a cualquier distancia de la fuente. Por lo que es más frecuente hablar del flujo por unidad de ángulo sólido que hablar simplemente del flujo total (Figura 62).

Matemáticamente es:

$$I = \frac{F}{\Omega}$$

Ecuación 2. Intensidad luminosa.

Donde:

I = Intensidad luminosa.

F = Flujo luminoso en lúmens.

Ω = Es el elemento diferencial del ángulo sólido, en estereorradianes.

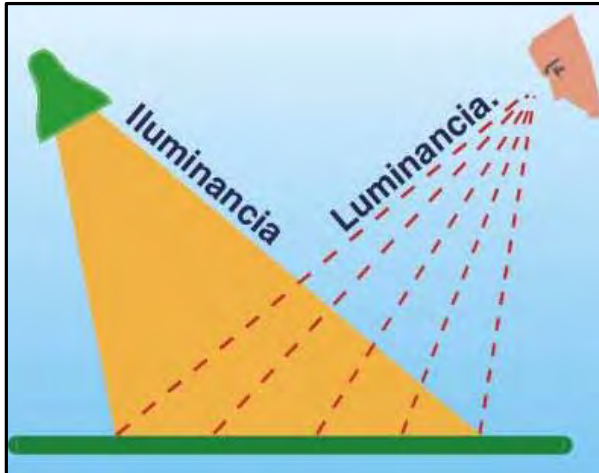


Figura 63. Iluminancia y luminancia.

4.2.3 Iluminancia.

Es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que es incidente sobre una superficie por unidad de área (Figura 63). Se mide en luxes (lx) que a su vez equivalen a un lumen por metro cuadrado, lo que quiere decir que $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$.

Como regla general se considera que la iluminancia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente

luminosa y proporcional al *coseno* del ángulo que se generan entre la normal de la superficie y la dirección del rayo de luz. El parámetro se define con la siguiente expresión:

$$E = \frac{F}{S}$$

Ecuación 3. Iluminancia.

Donde:

E = Iluminancia, en lux.

F = Flujo luminoso, en lux.

S = Es el elemento diferencial del área considerado, en metros cuadrados.

4.2.4 Luminancia.

Es la medida que expresa el valor del estímulo luminoso, o sea que mide la brillantez o luminosidad de una superficie. También se puede definir como la intensidad de luz que

es emitida en determinada dirección por una superficie reflejante o área luminosa (Figura 63). La unidad de medida de la luminancia es la candela por metro cuadrado (cd/m²).

La fórmula es:

$$L_v = \frac{d^2 * F}{S * \Omega * \cos\theta}$$

Ecuación 4. Luminancia.

Donde:

L_v = Iluminancia medida en cd/m².

F = Flujo luminoso en lúmens.

Ω = Es el elemento diferencial del ángulo sólido, en estereorradianes.

S = Elemento de superficie en m².

θ = Ángulo entre la normal de la superficie y la dirección considerada.

4.3 Fenómenos asociados a la propagación de la luz.

Cuando la luz incide sobre un cuerpo, su comportamiento varía según sea la superficie y constitución de dicho cuerpo, y la inclinación de los rayos incidentes, dando lugar a los siguientes fenómenos físicos:

Reflectancia: La reflectancia de la luz ocurre cuando las ondas electromagnéticas se topan con una superficie que no absorbe la energía radiante. La onda, llamada rayo incidente se refleja produciendo un haz de luz, denominado rayo reflejado.

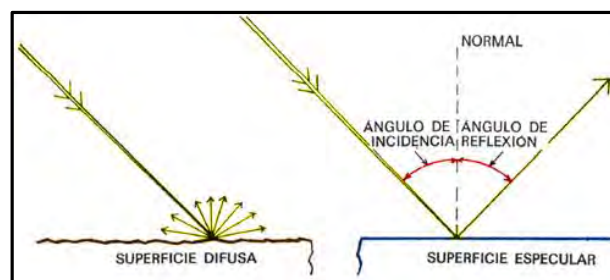


Figura 64. Diagrama de reflexión de la luz.

Al tener una superficie lisa y totalmente no absorbente se dice que ocurre reflexión especular, en ésta, un solo rayo incidente produce un único rayo reflejado. En el punto de incidencia el rayo incidente, el rayo reflejado y la perpendicular a la superficie límite se encuentran en el mismo plano. El rayo incidente y el rayo reflejado poseen iguales ángulos en relación con la perpendicular y se encuentran sobre lados opuestos de ella (Figura 64) (Viqueira, 2011).

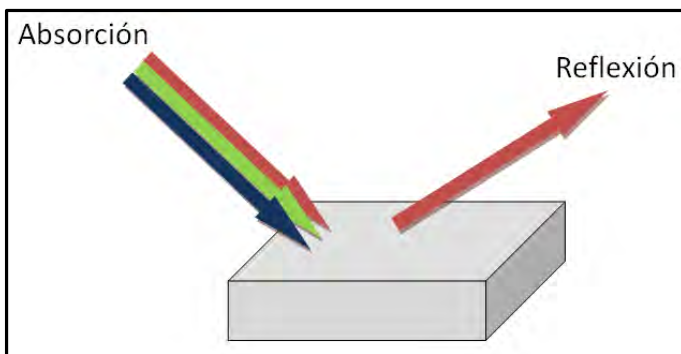


Figura 65. Fenómeno de absorción.

Absorción: cuando se produce el fenómeno de reflexión no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos se refleja; una parte de este flujo luminoso es absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo (Viqueira, 2011).

El color de los cuerpos juega un papel sumamente importante ya que si el cuerpo es de color blanco este refleja toda la luz blanca incidente, pero si la superficie es negra absorbe la totalidad de la luz blanca sin haber reflexión; si la superficie es gris parte de la luz se refleja y parte es absorbida.

Transmitancia: Al pasar un rayo luminoso a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos, se dice que este rayo ha sido transmitido, es la relación del flujo luminoso transmitido entre el flujo luminoso incidente (Viqueira, 2011). La transmisión de la luz puede ser dirigida, cuando el rayo luminoso sufre solamente la variación debida a la refracción normal. Este tipo de transmisión se puede conseguir con materiales transparentes o puede ser difusa cuando el rayo luminoso

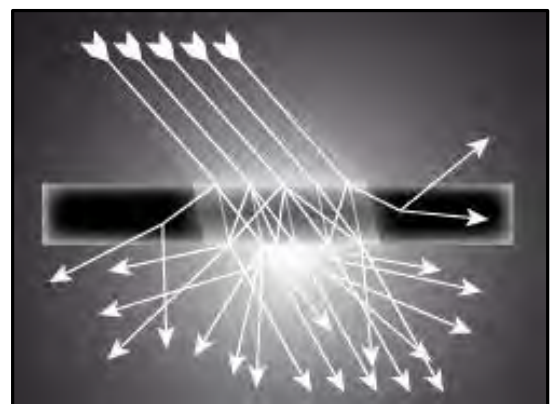


Figura 66. Transmitancia difusa.

incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo de que se trate (Figura 66).

4.4 Leyes Fundamentales.

Ley de la inversa de los cuadrados.

Para una misma fuente luminosa, las iluminancias en diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación son directamente proporcionales a la intensidad luminosa del foco, e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia. Es decir, a mayor distancia menor cantidad de luz.

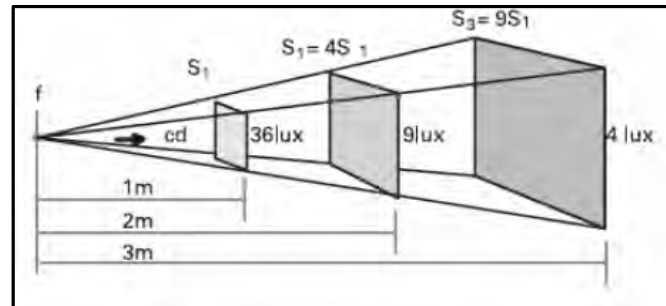


Figura 67. Aplicación de la ley de la inversa de los cuadrados.

La ley se expresa con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{I}{D^2}$$

Ecuación 5. Ley de la inversa de los cuadrados.

Dónde:

E = es la iluminación.

I = es la superficie.

D = es la distancia.

Ley del coseno.

Cuando la fuente luminosa y el plano iluminado no son perpendiculares, la fórmula de la inversa del cuadrado se multiplica por el coseno del ángulo correspondiente. La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el

punto iluminado" El ángulo de incidencia es el formado entre la dirección de los rayos luminosos y la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia (ángulo α).

La ley se expresa con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{I}{D^2} \cos \alpha$$

Ecuación 6. Ley de Coseno.

Dónde:

E = es la iluminación.

I = es la superficie.

D = es la distancia.

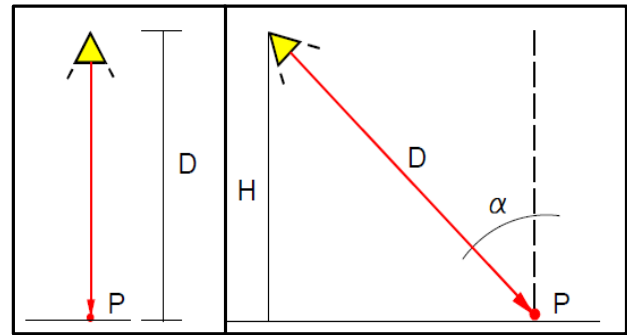


Figura 68. Ley de Coseno.

4.5 Sistemas de iluminación natural y los factores que influyen en la visión.

Como a lo largo de los temas hemos visto, la luz natural es una fuente renovable que tiene mayores beneficios que cualquier otra fuente artificial de luz. Un uso óptimo de la estrategia de iluminación natural para cualquier proyecto arquitectónico nos puede generar la eliminación de la luz artificial por una gran cantidad de tiempo del día en los edificios, lo que significaría un gran ahorro de energía eléctrica y una inversión al proyecto altamente rentable.

Llamamos sistema de iluminación natural al conjunto de componentes que en un edificio o construcción se utilizan para iluminar con luz natural. La cantidad, calidad y distribución de la luz interior depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, de la ubicación de las aberturas y de la superficie de las envolventes (Pattini, 2006).

Básicamente son tres los sistemas de iluminación natural utilizados:

- Iluminación lateral
- Iluminación cenital
- Iluminación combinada

Iluminación lateral

La luz llega desde una abertura ubicada en un muro lateral, y es por eso que la iluminancia del plano de trabajo cercano a la ventana tiene un nivel alto y aporta en forma importante a la iluminación general, como se verá en el estudio experimental. Si nos desplazamos, alejándonos de la ventana, el valor de la iluminación directa decrece rápidamente y la proporción relativa de la componente indirecta (reflejada y difusa) se incrementa (Pattini, 2006)

Sin embargo, como se muestra en la figura 69, la cantidad y distribución de la luz que ingresa lateralmente a través de una abertura en un muro depende fundamentalmente de la orientación del muro donde la misma está emplazada, debido a que en general en nuestras latitudes, las ventanas orientadas al Norte reciben sol

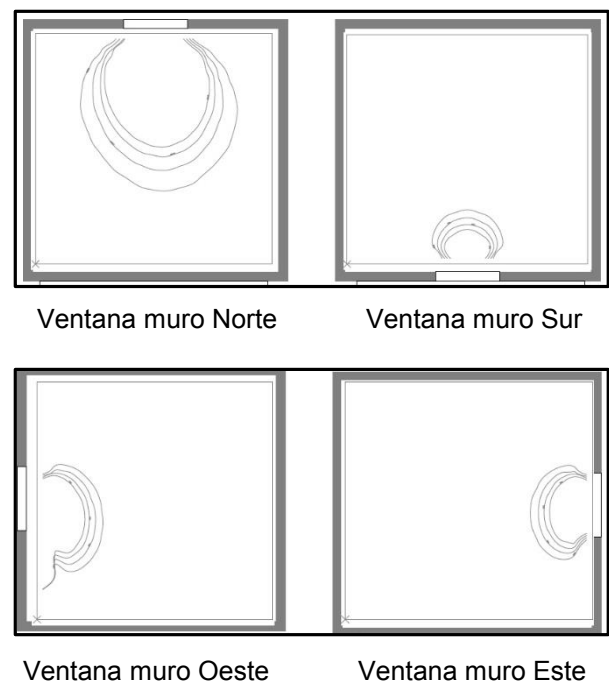


Figura 69. Diferencias entre las curvas de isolux resultantes en el mismo espacio interior modificando solamente la ubicación de la ventana en los muros Norte, Sur, Oeste y Este.

(iluminación directa) desde el amanecer hasta el atardecer, las orientadas al Este solo permiten el ingreso de la radiación directa desde el amanecer hasta el mediodía, las ubicadas hacia el Oeste desde el mediodía hasta el atardecer y las emplazadas hacia el Sur no reciben aporte de iluminación directa, solo reciben iluminación difusa y reflejada.

Iluminación cenital

Según Elías Torres²² “El espacio interior sin aberturas en los muros verticales e iluminado desde lo alto, convierte el exterior en realidad ajena [...] las aberturas en la cubierta nos proponen una relación con el exterior abstracta, casi irreal. Su autonomía va acompañada de una luz íntima, enigmática, secreta, protegida, ajena a la realidad circundante, y a veces algo clandestina”. Se utiliza generalmente en las localidades generalmente con predominio de cielos nublados. El plano de trabajo y es iluminado directamente desde la parte más luminosa de estos tipo de cielos, el cenit. La proporción de iluminación indirecta generalmente no excede el 25%. En la Figura 70 se indica la distribución de las aberturas según su relación con la altura del local.

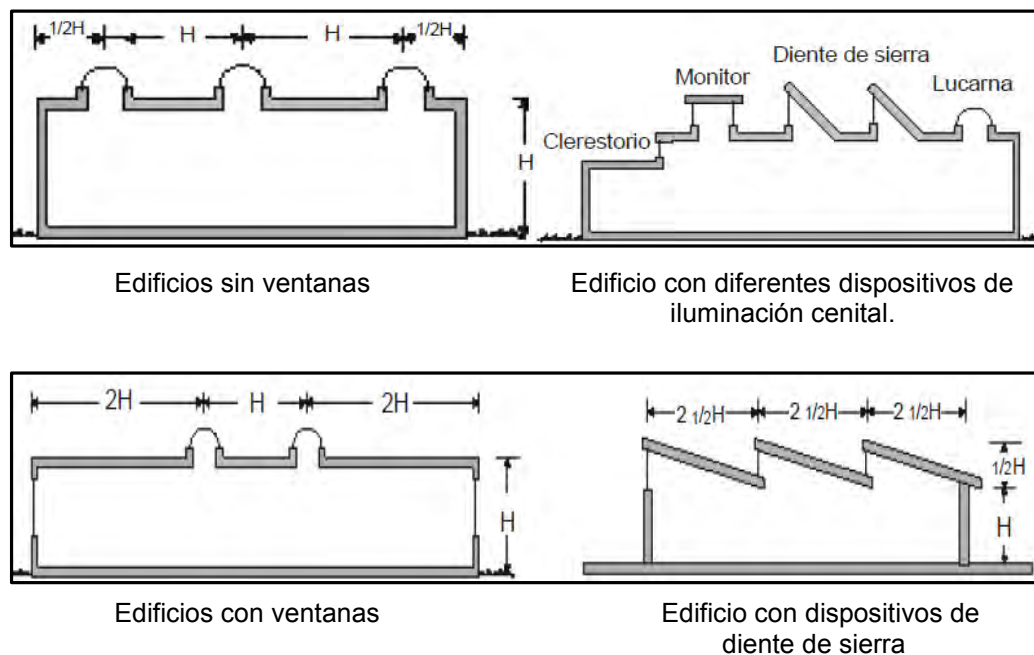


Figura 70. Edificios con y sin ventanas, así como tipos de dispositivos de iluminación cenital.

²² TORRES TUR, Elías; Luz Cenital. Tesis para optar el grado de Doctor en arquitectura. Director Rafael Serra Florensa, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, 1993.

Iluminación combinada

En este tipo de iluminación, las aperturas son en muros y techos, por lo que es una combinación de las dos anteriores. En la figura 70 se puede observar claramente en el edificio con ventanas, el uso de ambos sistemas.

4.6 Factores que influyen en la visión.

Dado que el ojo no puede transmitir a nuestro cerebro ninguna información de todo cuanto nos rodea cuando éste carece de luz, podemos enumerar una serie de factores que influyen en la percepción visual de los objetos (Taboada, 1983):

1. Iluminación
2. Contraste
3. Sombras
4. Deslumbramiento
5. Ambiente cromático

Iluminación

En numerosas investigaciones se ha podido comprobar que la capacidad visual depende de la iluminación y que ésta afecta el estado de ánimo de las personas, a su aptitud para desarrollar un trabajo, a su poder de relajación, etc.

Cada actividad requiere de una determinada iluminación nominal que debe existir como *valor medio* en la zona en que se desarrolla la misma. Siendo que este *valor medio*, está en función de una serie de factores:

- Tamaño de los detalles a captar.
- Distancia entre el ojo y el objeto observado.
- Factor de reflexión del objeto observado.
- Contraste entre los detalles del objeto y el fondo sobre el que destaca.
- Tiempo empleado en la observación.

- Rapidez de movimiento del objeto.

Cuanto mayor sea la dificultad para la percepción visual, mayor debe ser el nivel medio de iluminación. Esta dificultad se acentúa mucho más en las personas de edad avanzadas, de ahí que éstas necesiten más luz que los jóvenes para realizar un trabajo de igual facilidad. Se ha comprobado que mientras un niño de 10 años, para leer normalmente una página de un libro con buena impresión, necesita un nivel medio de iluminación de 175 lux, una persona de 40 años precisa 500 lux, y otra de 60 años, 2500 lux (Figura 71) (Taboada, 1983).



Figura 71. A mayor dificultad para la percepción visual, mayor debe ser el nivel medio de iluminación.

Contraste

El ojo sólo aprecia diferencias de luminancia. La diferencia de luminancia entre el objeto que se observa y su espacio inmediato, es lo que se conoce como contraste. Combinando bien los grados de reflexión de las superficies de un recinto, se obtiene una disminución armónica de la luminancia, produciéndose con ello un contraste fácil de distinguir. Las mejores condiciones visuales se consiguen cuando el contraste de luminancia entre el objeto visual y las superficies circundantes se mantiene dentro de unos límites determinados (Figura 72) (Taboada, 1983).

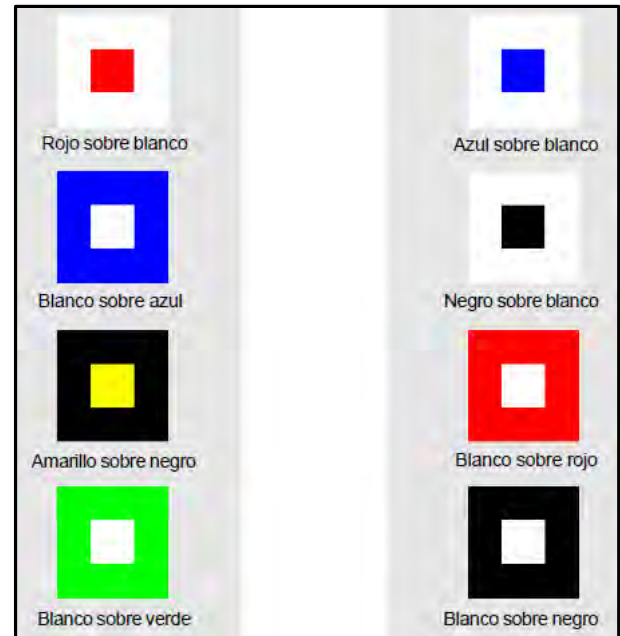


Figura 72. Algunos de los contrastes de color más efectivos.

Sombras

Si no tuviéramos dos ojos, no veríamos los objetos en relieve, es decir unos más cerca que otros. Ello se debe a que en cada ojo se forma una imagen ligeramente distinta y al juntarse las dos en el cerebro dan la sensación de relieve. Pero además, para poder captar el relieve de los objetos es preciso que éstos presenten unas zonas menos iluminadas que otras. Estas zonas menos iluminadas son las sombras, las cuales destacan las formas plásticas de los objetos.

Las sombras en sí son el resultado de una diferencia de luminancia respecto a zonas más iluminadas (Figura 73). Se distinguen dos clases de sombras: fuertes y suaves. *Sombras fuertes* son las que resultan de iluminar un objeto con luz dirigida intensa desde un punto determinado más o menos alejado, y se caracterizan por su profunda oscuridad y dureza con alto efecto de relieve. En contraposición a las sombras fuertes, las *sombras suaves* son las que resultan de iluminar un objeto con una luz difusa y se caracterizan por su suavidad y menor efecto de relieve (Taboada, 1983).



Figura 73. Diferencia de luminancias respecto a zonas más iluminadas: sombras.

Deslumbramiento

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad para distinguir objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. Este fenómeno actúa sobre la retina del ojo en la cual produce una enérgica reacción fotoquímica, insensibilizándola durante un cierto tiempo, transcurrido el cual vuelve a recuperarse.

Los efectos que originan el deslumbramiento pueden ser de tipo psicológico (molesto) o de tipo fisiológico (perturbador). En cuanto a la forma de producirse puede ser directo como el proveniente de lámparas, luminarias o ventanas, que se encuentren situadas dentro del campo visual, o reflejado por superficies de gran reflectancia, especialmente superficies especulares como las del metal pulido (Figura 74).

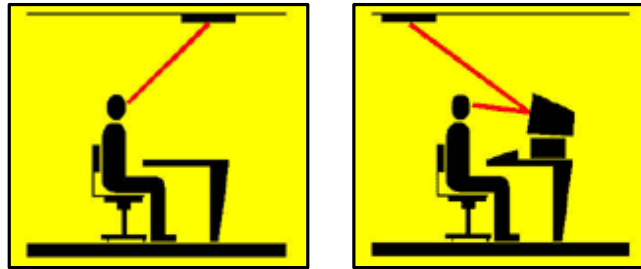


Figura 74. Deslumbramiento directo y reflejado.

Los principales factores que intervienen en el deslumbramiento son:

- La luminancia de la fuente de luz o de las superficies iluminadas. A mayor luminancia corresponde mayor deslumbramiento.
- Las dimensiones de la fuente de luz en función del ángulo subtendido por el ojo a partir de los 45° con respecto a la vertical
- La situación de la fuente de luz. Cuanto más lejos se encuentre la fuente en la línea de visión, menor deslumbramiento produce. También disminuye el deslumbramiento a medida que la fuente queda más por encima del ángulo visual.
- El contraste entre la luminancia de la fuente de luz y la de sus alrededores. A mayor contraste de luminancia, mayor deslumbramiento.
- El tiempo de exposición. Una luminancia de valor bajo puede producir deslumbramiento si el tiempo de exposición es largo. Dado los efectos tan perjudiciales que produce el deslumbramiento, deben tomarse todas las medidas posibles para evitarlo.

El deslumbramiento debido a la luz natural (ventanas), no tiene que ser un inconveniente para intentar su máximo aprovechamiento, tanto por el ahorro energético que se puede obtener, como por el beneficio psicológico que aporta el contacto con el entorno. El

control de este deslumbramiento se puede lograr mediante la distribución idónea de mesas, pupitres, pizarras, etc., y utilización de sistemas de control solar (Figura 75).

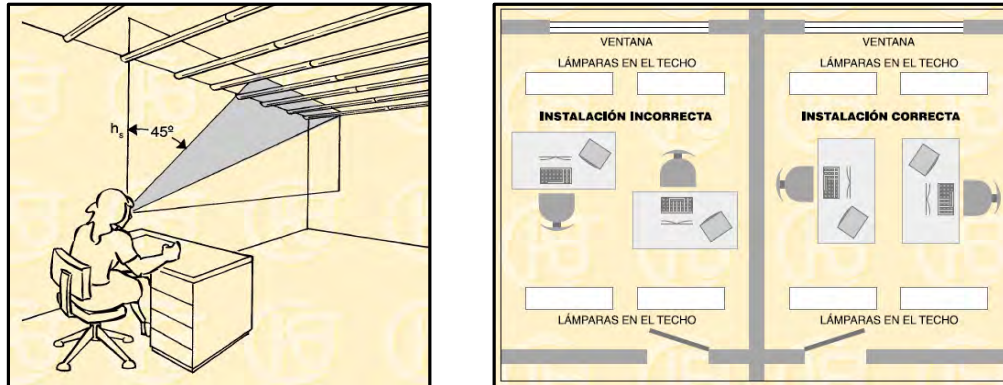


Figura 75. Deslumbramiento ocasionado por mala ubicación de mobiliario.

Ambiente Cromático

El color de la luz y los colores sólidos existentes en el espacio facilitan el reconocimiento de todo cuanto nos rodea. Los efectos psicofísicos que producen se definen como ambiente cromático. El cual tiene gran influencia en el estado de ánimo de las personas, por lo que en la iluminación de un espacio, las intensidades de iluminación, el color de la luz, su reproducción cromática y los colores de las superficies interiores, deben estar perfectamente armonizados y adaptados a la función visual o trabajo a desarrollar (Figura 76).

Como indicación general, si las intensidades de iluminación son bajas, los colores apropiados deben ser cálidos; y si son mayores, blancos o luz día.

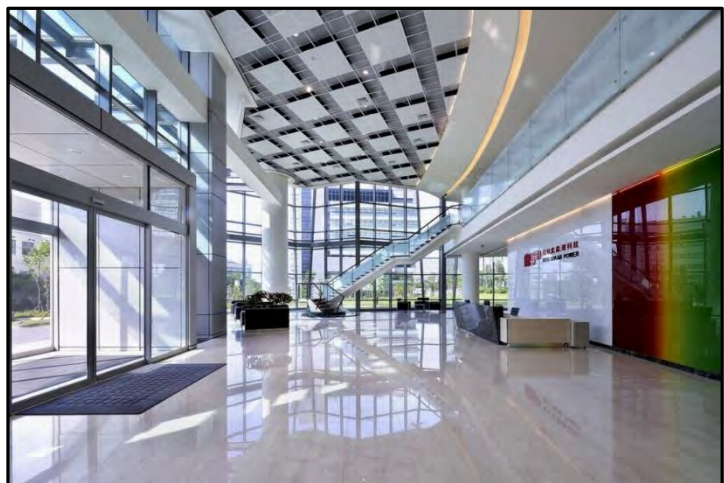


Figura 76. Ambiente cromático en oficinas.

4.7 Confort lumínico y visual.

Como se ha visto, la luz natural es una de las claves esenciales del bienestar humano. Al tener una adecuada iluminación en los espacios, las personas son capaces de rendir más y de manera óptima en sus actividades, no solo se pueden permitir una mejor percepción de los colores, sino también contribuir a la reducción del consumo de energía de los edificios.



Figura 77. Nivel adecuado de confort visual en los espacios.



Figura 78. Inadecuada orientación de ventanas.

Para poder decir que el nivel de confort visual se ha alcanzado, los usuarios deben distinguir de manera cómoda y sin esfuerzo los objetivos que se desean observar en un espacio arquitectónico; por lo que este concepto se entiende a partir de fenómenos ligados estrechamente a la forma en que se ilumina un espacio y al nivel de iluminación del mismo, donde términos anteriormente vistos como deslumbramiento y contraste toman importancia. Resaltando la subjetividad que tiene este concepto debido a las capacidades de percepción de cada persona y la importancia de apreciar el fenómeno en su distribución espacial y temporal (Figura 77) (Evans, 1980).

Uno de los graves errores cuando se proyecta es el improvisar la ubicación de ventanas, ya que la luz natural mal

gestionada puede ser una fuente de deslumbramientos y de fatiga visual, además de provocar un calor excesivo debido a la radiación solar mal controlada, haciendo que las necesidades de climatización aumenten y generen mayores gastos (Figura 78). Es por

estos motivos que ya desde la fase de diseño se deben tener en cuenta los criterios de iluminación con el fin de responder eficazmente a cada necesidad particular.

Cabe la posibilidad de que al encontrar el criterio adecuado de iluminación y la eliminación del deslumbramiento, éste sea contradictorio con los requerimientos de otra índole, como es el caso del confort térmico o del confort acústico, y es tarea del arquitecto considerar todas las variables de impacto, incluyendo ganancias solares, calidad acústica y calidad de aire, evaluar sus impactos y su interrelación con otras y decidir las prioridades del espacio que se está diseñando.

4.8 Normatividad sobre el uso de iluminación natural.

En la actualidad nos encontramos con una difícil situación en lo que se refiere a la correcta iluminación de los espacios, que terminan por ocasionar diversos problemas en sus ocupantes; en gran medida, esto se debe a una falta de desconocimiento de los proyectistas al no conocer la normatividad existente sobre éste tema.

Hasta el momento en que se realizó esta investigación, podemos decir que la legislación referente a la utilización de la luz natural varía de un país a otro, tomando generalmente criterios muy diversos dependiendo de cada región pero teniendo en común el propiciar el bienestar de los usuarios mediante una correcta iluminación.

Al analizar la diferente normativa tanto de nuestro país como la internacional, encontramos que la mayoría de ellos se basa en la accesibilidad que deben de tener los edificios a la insolación. Aunque también, hacen mención en un segundo plano a los requerimientos de ventanas y la relación de éstas a su tamaño para permitir la entrada de luz natural dependiendo el espacio donde se encuentren.

En el presente trabajo se tomaron en cuenta:

- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias al Proyecto Arquitectónico.
- Normas de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 (Condiciones de iluminación en los centros de Trabajo).

Asimismo se investigaron diferentes parámetros de normatividad Internacional con el fin de comparar y analizar los resultados.

4.8.1 Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones del Distrito Federal.

El gobierno del Distrito Federal publicó el 6 de Octubre de 2004 las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico (Luis Arnal Simon, Maz Betancourt Suárez, 2004), en el apartado 3.4 se considera la *Iluminación y ventilación* de manera general y en conjunto, y en el apartado 3.4.1 de *Generalidades* solo especifica que los locales habitables y complementarios deben tener iluminación diurna natural por medio de ventanas que den directamente a la vía pública, azoteas, superficies descubiertas o patios considerando **locales habitables**: las recámaras, alcobas, salas, comedores, estancias o espacios únicos, salas de televisión y de costura, locales de alojamiento, cuartos para encamados de hospitales, clínicas y similares, aulas de educación básica y media, vestíbulos, locales de trabajo y de reunión y los **locales complementarios**: los baños, cocinas, cuartos de lavado y planchado doméstico, las circulaciones, los servicios y los estacionamientos. Se consideran **locales no habitables**: los destinados al almacenamiento como bodegas, closets, despensas, roperías.

En el apartado **3.4.2 iluminación y ventilación natural** y el subsecuente **3.4.2.1 Ventanas** especifica:

Para el dimensionamiento de ventanas se tomará en cuenta lo siguiente:

- I. El área de las ventanas para iluminación no será inferior al 17.5% del área del local en todas las edificaciones a excepción de los locales complementarios donde este porcentaje no será inferior al 15%;
- II. El porcentaje mínimo de ventilación será del 5% del área del local;
- III. Los locales cuyas ventanas estén ubicadas bajo marquesinas, techumbres, balcones, pórticos o volados, se considerarán iluminadas y ventiladas naturalmente cuando dichas

ventanas se encuentren remetidas como máximo lo equivalente a la altura de piso a techo del local;

IV. Se permite la iluminación diurna natural por medio de domos o tragaluces en los casos de baños, incluyendo los domésticos, cocinas no domésticas, locales de trabajo, reunión, almacenamiento, circulaciones y servicios; en estos casos, la proyección horizontal del vano libre del domo o tragaluz puede dimensionarse tomando como base mínima el 4% de la superficie del local, excepto en industrias que será del 5%. El coeficiente de transmisibilidad del espectro solar del material transparente o translúcido de domos y tragaluces en estos casos no debe ser inferior al 85%;

V. No se permite la iluminación y ventilación a través de fachadas de colindancia, el uso de bloques prismáticos no se considera para efectos de iluminación natural;

VI. No se permiten ventanas ni balcones u otros voladizos semejantes sobre la propiedad del vecino prolongándose más allá de los linderos que separen los predios. Tampoco se pueden tener vistas de costado u oblicuas sobre la misma propiedad, si no hay la distancia mínima requerida para los patios de iluminación;

VII. Las escaleras, excepto en vivienda unifamiliar, deben estar ventiladas en cada nivel hacia la vía pública, patios de iluminación y ventilación o espacios descubiertos, por medio de vanos cuya superficie no será menor del 10% de la planta del cubo de la escalera; en el caso de no contar con ventilación natural se debe satisfacer lo dispuesto en la fracción II correspondiente a las condiciones complementarias de la Tabla 3.6; y

VIII. Los vidrios o cristales de las ventanas de piso a techo en cualquier edificación, deben cumplir con la Norma Oficial NOM-146-SCFI, excepto aquellos que cuenten con barandales y manguetas a una altura de 0.90 m del nivel del piso, diseñados de manera que impidan el paso de niños a través de ellos, o estar protegidos con elementos que impidan el choque del público contra ellos.

En el **3.4.2.2 Patios de iluminación y ventilación natural** considera lo siguiente:

Se refieren a patios de iluminación y ventilación natural con base de forma cuadrada o rectangular, cualquier otra forma debe considerar una área equivalente; estos patios tendrán como mínimo las proporciones establecidas en la Tabla 3.4, con dimensión mínima de 2.50 m medida perpendicularmente al plano de la ventana sin considerar remetimientos.

TABLA 3.4	
TIPO DE LOCAL	PROPORCIÓN MÍNIMA DEL PATIO DE ILUMINACIÓN Y VENTILACIÓN
	(con relación a la altura de los paramentos del patio)
Locales habitables	1 / 3
Locales complementarios e industria	1 / 4

Tabla 3. NTCPA - Patios de iluminación y ventilación natural.

Condiciones complementarias a la tabla 3.4:

- I. Si la altura de los paramentos del patio fuera variable se tomará el promedio de los dos más altos; los pretilos y volúmenes en la parte superior de estos paramentos, podrán remeterse un mínimo del equivalente a su altura con el propósito de no ser considerados para el dimensionamiento del patio;
- II. En el cálculo de las dimensiones mínimas de los patios podrán descontarse de la altura total de los paramentos que lo confinan, las alturas correspondientes a la planta baja y niveles inmediatamente superiores a ésta, que sirvan como vestíbulos, estacionamientos o locales de máquinas y servicios;
- III. Para determinar las dimensiones mínimas de los patios, se tomará como cota de inicio 0.90 m de altura sobre el piso terminado del nivel más bajo que tenga locales habitables o complementarios;
- IV. En cualquier orientación, se permite la reducción hasta de una quinta parte en la dimensión mínima del patio, siempre y cuando la dimensión ortogonal tenga por lo menos una quinta parte más de la dimensión mínima correspondiente;

V. En los patios completamente abiertos por uno o más de sus lados a vía pública, se permite la reducción hasta la mitad de la dimensión mínima en los lados perpendiculares a dicha vía pública;

VI. Los muros de patios que se limiten a las dimensiones mínimas establecidas en esta Norma y hasta 1.3 veces dichos valores, deben tener acabados de textura lisa y colores claros;

VII. Los patios podrán estar techados por domos o cubiertas transparentes o traslúcidos siempre y cuando tengan una transmisibilidad mínima del 85% del espectro solar y una área de ventilación en la cubierta no menor al 10% del área del piso del patio; y

VIII. En las zonas históricas y patrimoniales los inmuebles sujetos a reparación, adecuación y modificación podrán observar las dimensiones de los patios de iluminación y ventilación del proyecto original o construcción existente siempre y cuando cuenten con la aprobación del Instituto Nacional de Antropología e Historia o del Instituto Nacional de Bellas Artes, según corresponda.

En su apartado **3.4.3 Iluminación Artificial** especifica los niveles mínimos de iluminación artificial que deben tener las edificaciones y se establecen en su Tabla 3.5, y en dado caso de emplear criterios diferentes, el Director Responsable de Obra debe justificarlo en la Memoria Descriptiva del proyecto.

TABLA 3.5		
REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL		
TIPO DE EDIFICACIÓN	Local	Nivel de Iluminación
HABITACIONAL		
Vivienda unifamiliar Vivienda plurifamiliar	Circulaciones horizontales y verticales	50 luxes
COMERCIAL		
Abasto y almacenamiento	Almacenes	50 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Mercados públicos	Naves	75 luxes
Venta de combustibles y explosivos	Áreas de servicio	70 luxes
	Áreas de bombas	200 luxes
Tiendas de productos básicos y especialidades	En general	250 luxes
Tiendas de autoservicio		
Tiendas departamentales y Centros comerciales		
Agencias y talleres de reparación		
Tiendas de servicios y servicios diversos	Baños	100 luxes
Baños públicos	Sanitarios	75 luxes

Gimnasios y adiestramiento físico	En general	250 luxes
SERVICIOS		
Administración		
Bancos, casas de bolsa y casas de cambio	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Oficinas privadas y públicas	Cuando sea preciso apreciar detalles	100 luxes
	Cuando sea preciso apreciar detalles :	
	Toscos o burdos	200 luxes
	Medianos	300 luxes
	Muy finos	500 luxes
Hospitales y centros de salud		
Atención médica o dental a usuarios externos	Consultorios y salas de curación	300 luxes
	Salas de espera	125 luxes
Atención a usuarios internos	Circulaciones	100 luxes
	Salas de encamados	75 luxes
Servicios médicos de urgencia(públicos y privados)	Emergencia en consultorios y salas de curación	300 luxes
Asistencia social		
Residencias colectivas	Circulaciones horizontales y verticales	50 luxes
Asistencia animal		
Centros antirrábicos, clínicas y hospitales veterinarios	Salas de curación	300 luxes
Educación e instituciones científicas		
Atención y educación preescolar	Aulas	250 luxes
Educación formal básica y media	Aulas y laboratorios	300 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Educación formal media-superior y superior, y educación informal	Aulas y laboratorios	300 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Institutos de investigación	Aulas y cubículos	250 luxes
Exhibiciones		
Galerías de arte, museos, centros de exposiciones	Salas de exposición	250 luxes
	Vestíbulos	150 luxes
	Circulaciones	100 luxes
Centros de información	Salas de lectura	250 luxes
Instituciones religiosas		
Lugares de culto, (templos, iglesias y sinagogas)	Áreas de reunión	100 luxes
Alimentos y bebidas		
Servicios de alimentos y bebidas con o sin esparcimiento	En general	250 luxes
	Restaurantes	50 luxes
	Centros Nocturnos	30 luxes
	Cocinas	200 luxes
Entretenimiento y Recreación social		
Espectáculos y reuniones	Salas durante la función	1 lux
	Iluminación de emergencia	25 luxes
	Salas durante los intermedios	50 luxes
	Vestíbulos	150 luxes
	Circulaciones	100 luxes
	Emergencia en circulaciones y sanitarios	30 luxes
Deportes y recreación		
Prácticas y/o espectáculos deportivos	Circulaciones	100 luxes
Alojamiento		
Hoteles y moteles	Habitaciones	75 luxes
Casas de huéspedes	Circulaciones	100 luxes
Albergues turísticos juveniles	vestíbulos	150 luxes
	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
Campamentos para remolques y campismo	Estacionamiento de vehículos	30 luxes
	Circulaciones	75 luxes
Policía y bomberos		
Centrales de policía, estaciones de bomberos y cuarteles	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
Funerarios		
Agencias funerarias	Velatorios	125 luxes

Transportes		
	Entrada y salida	300 luxes
	Espacio de circulación, pasillos, rampas y zonas peatonales	100 luxes
Estacionamientos privados y públicos, incluyendo encierros de vehículos	Espacios para estacionamientos (cajones)	50 luxes
	Caseta de control	200 luxes
	Zona de espera	50 luxes
	Pasillos y cajones	50 luxes
	En general	250 luxes
Servicios de mudanzas	En general	250 luxes
INDUSTRIA		
Para todo tipo de industria	Áreas de trabajo en que no sea preciso apreciar detalles.	100 luxes
	Áreas de trabajo en que sea preciso apreciar detalles: toscos o burdos	200 luxes
	medianos	300 luxes
	muy finos	500 luxes
	Área de almacenamiento	50 luxes
	Circulaciones	100 luxes
	Comedores	150 luxes
Comunicaciones		
Servicio al público de correos y telégrafos, mensajería y paquetería.	En general	250 luxes
INFRAESTRUCTURA		
Infraestructura		De acuerdo a los locales de que se trate
ESPACIOS ABIERTOS		
Plazas y explanadas	Circulaciones	75 luxes
Parques y jardines	Estacionamientos	30 luxes

Tabla 4. NTCPA – Iluminación Artificial.

Condiciones complementarias a la tabla 3.5:

- I. El nivel de iluminación artificial para circulaciones verticales y horizontales, así como elevadores en todas las edificaciones, excepto en la de la habitación será de 100 luxes;
- II. El porcentaje de iluminación de emergencia debe realizarse conforme a la Tabla 3.7, y
- III. El Director Responsable de Obra debe cumplir, en su caso, con lo dispuesto en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-001-SEDE, “Instalaciones eléctricas (utilización)”;

NOM-007-ENER, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”;

NOM-013-ENER, “Eficiencia energética en sistemas de alumbrado para vialidades y exteriores de edificios”; y NOM-025-STPS, “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”.

Como se puede observar esta tabla habla sobre los requisitos mínimos de iluminación artificial y es importante resaltar como en oficinas privadas y públicas, este rango va de 100 a 500 lux, en espacios de educación va de 100 a 300 lux, dependiendo de la tarea a realizarse en el área de trabajo (Luis Arnal Simon, Maz Betancourt Suárez, 2004).

4.8.2 Normas de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social.

La única norma que nos acontece en esta investigación postulada por la Secretaria de Trabajo y Previsión social se encuentra en el apartado de salud siendo la **NOM-025-STPS-2008. “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”**

La cual tiene como objetivo establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. Aplicándose en los centros de trabajo que por la naturaleza de las actividades se reuniera de fuentes de luz en el plano y área de trabajo.

Ésta Norma, que se encuentra en el apartado de salud, tiene como objetivo establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. Aplicándose en los centros de trabajo que por la naturaleza de las actividades se reuniera de fuentes de luz en el plano y área de trabajo.

Se determinan los niveles de iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo, aquí se diferencian las áreas de circulación y las áreas de trabajo. Se establece como mínimo 100 lux para circulación en interiores como pasillos, 300 lux para oficinas en general y 500 lux si las tareas a realizar requieren alta definición de detalles como dibujo, computo o laboratorios (Tabla 5) (Secretaria del Trabajo y Prevision Social, 2008).

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Area de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación de acuerdo a la tarea visual del puesto de trabajo.

Así mismo se hace una propuesta para tener un reconocimiento de las condiciones de iluminación en determinado espacio, considerando aquellas áreas del centro de trabajo y las tareas visuales asociadas a los puestos de trabajo, asimismo, identifica aquéllas donde exista una iluminación deficiente o exceso de iluminación que provoque deslumbramiento.

Para determinar las áreas y tareas visuales de los puestos de trabajo debe recabarse y registrarse la información del reconocimiento de las condiciones de iluminación de las áreas de trabajo, así como de las áreas donde exista una iluminación deficiente o se presente deslumbramiento y, posteriormente, conforme se modifiquen las características de las luminarias o las condiciones de iluminación del área de trabajo.

A partir de los registros del reconocimiento, se debe realizar la evaluación de los niveles de iluminación en las áreas o puestos de trabajo, determinando el factor de reflexión en el plano de trabajo y paredes que por su cercanía al trabajador afecten las condiciones de iluminación comparándolo contra los niveles máximos permisibles del factor de reflexión de la Tabla 6.

Concepto	Niveles Máximos Permisibles de Reflexión, K_f
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Nota: Se considera que existe deslumbramiento en el área y puesto de trabajo, cuando el valor de la reflexión (K_f) supere los valores establecidos en la Tabla 2.

Tabla 6. Niveles Máximos permisibles del factor de reflexión.

La evaluación de los niveles de iluminación debe realizarse en una jornada laboral bajo condiciones normales de operación, se puede hacer por áreas de trabajo, puesto de trabajo o una combinación de los mismos.

Si en el resultado de la evaluación de los niveles de iluminación se detectaron áreas o puestos de trabajo que deslumbren al trabajador, se deben aplicar medidas de control para evitar que el deslumbramiento lo afecte. Si en el resultado de la medición se observa que los niveles de iluminación en las áreas de trabajo o las tareas visuales están por debajo de los niveles indicados en la Tabla 27 o que los factores de reflexión estén por encima de lo establecido en la Tabla 28, se deben adoptar las medidas de control necesarias, entre otras, dar mantenimiento a las luminarias, modificar el sistema de iluminación o su distribución y/o instalar iluminación complementaria o localizada. Para esta última medida de control, en donde se requiera una mayor iluminación, se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Evitar el deslumbramiento directo o por reflexión al trabajador;
- b) Seleccionar un fondo visual adecuado a las actividades de los trabajadores;
- c) Evitar bloquear la iluminación durante la realización de la actividad, y
- d) Evitar las zonas donde existan cambios bruscos de iluminación.

4.8.3 Niveles internacionales de iluminación recomendados.

Los niveles de iluminación indicados a continuación varían no solo según las actividades sino que además fluctúan entre diferentes países. Por otra parte, según el país a que se refiera, estas cambian en los niveles de iluminación recomendados desde 1930.

Las recomendaciones de niveles de iluminación son efectuadas con el fin de mejorar la seguridad de los usuarios y varía de país a país y sobre todo de actividad a actividad.

La última edición de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), especifica valores para aproximadamente 250 actividades visuales que se realizan en interiores de edificios no residenciales y cerca de 300 específicas aplicaciones industriales, y un número similar de actividades y aplicaciones han sido propuestas en Europa por CEN (European Committee for Standardization, 1996). Los países varían considerablemente en la frecuencia con que ellos revisan sus recomendaciones y sus niveles de iluminación. Por un período de más que cuatro décadas (1948-1990), Suecia no cambio sus niveles de iluminación recomendados, para la iluminación genera en oficinas, mientras que Alemania la cambió seis veces. Bélgica no cambió sus recomendaciones entre 1964 y 1992. En Finlandia, la primera recomendación no fue publicada hasta 1971, y en Argentina hasta 1972 (Pattini, 2006).

Las recomendaciones de niveles de iluminación tienden a ser más específicas con el tiempo. Algunos países registran valores muy detallados para algunas aplicaciones y generales para otras, por ejemplo Japón, especifica 40 rangos diferentes para comercios y solo cuatro para escuela.

Los países varían considerablemente en la frecuencia con que ellos revisan sus recomendaciones y sus niveles de iluminación. Por un período de más que cuatro

décadas (1948-1990), Suecia no cambio sus niveles de iluminación recomendados, para la iluminación genera en oficinas, mientras que Alemania la cambió seis veces. Bélgica no cambió sus recomendaciones entre 1964 y 1992. En Finlandia, la primera recomendación no fue publicada hasta 1971, y en Argentina hasta 1972 (Pattini, 2006).

En la tabla 29 se muestra una recopilación de niveles de iluminación recomendados a nivel mundial en oficinas, aulas, hospitales e industrias de fuentes como manuales de iluminación, normas internacionales y publicaciones de algunos países (Mills, E. Y Borg, N., 1999).


local		Alemania	Japón		Holanda	Suecia	Suiza	UK	USA	URSS	CE
OFICINAS		lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux
general		500	300-750	200	100-200	100	500	500	200-300-500	300	500
pantalla de video		500	300-750		500	300-500	300-500	300-500	300	200	500
plano de trabajo		500	300-750	600	400-500	300	300	500	200-300-500	300	500
lectura			300-750	900	400	500	500	300	200-300-500	300	500
dibujo		750	750-1000	1100	1600	1500	1000	750	1000-1500-2000	500	750
AULAS											
general		300-500	200-750	400	500	300-500	300-500	300	200-300-500	300	300-500
pizarrón		300-500	300-1500	900	500	500	300-500	300	500-750-1000	500	500
HOSPITALES											
áreas comunes		300-500	300-1500	900	500	500	300-500	300	500-750-1000	500	500
habitaciones con pacientes		200	150-300	60	200	150	300	30-50	100-150-200	150	200
sala de operaciones		100-300	100-200	60-200	150	150	100-300	30-50	50-75-100	300	100
mesa de operaciones		1000	750-1500	600	2000	750	1000	400-500	1000-1500-2000	400	1000
INDUSTRIAS											
textil		20000-100000	20000	14000	100000		10000	10000-50000		10000-50000	10000-100000
electrónicas, test		750	750-1500	600-1100	500	750-1000	750-1000		1000-1500-2000	1500	1500

Tabla 7. Niveles recomendados de iluminancia horizontal (lux) para diferentes actividades en edificios no residenciales destinados a oficinas, escuelas, hospitales e industria.

Las anteriores tablas muestra los valores indicados según diferentes países para los valores recomendados de iluminación, en todos los casos se refieren a iluminación sobre plano horizontal, excepto para los indicados sobre pizarrones en aulas que son indicados en iluminación sobre plano vertical. En algunos casos los valores son recomendados en un rango y en el caso de oficinas, puesto de trabajo con computadoras (PC) el rango

indica "recomendado-máximo". Como podemos observar existe un rango amplio de niveles lumínicos recomendados dependiendo de la tarea, el lugar y de la norma a aplicar.

4.9 Niveles Medios de Iluminación al Plano de Trabajo Recomendados para la República Mexicana por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII).

Después de cada nombre de local o nombre de anexo de local, el primer número corresponde a la recomendación de iluminancia media de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 1999), (Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norte América, por sus siglas en inglés) El segundo número corresponde a la recomendación de la SMII. La iluminancia está dada en luxes (lx). Si el enunciado no tiene nivel significa que tiene subdivisiones o que otros espacios pertenecen a él (para los cuales si aparece el nivel medio de iluminación). La IESNA recomienda como iluminancia máxima y mínima factores de 1.25 y 0.85 veces, respectivamente, de la iluminancia media.

<p>"Oficinas, Escuelas, Edificios Públicos"</p> <p>"Auditorios"</p> <p>"Para exhibiciones" '300, 200</p> <p>"Para asambleas" '150, 100</p> <p>"Para actividades sociales" '50, 50</p> <p>"Bancos"</p> <p>"Vestibulo (Iluminación General)" '500, 300</p> <p>"Pagadores, contadores y recibidores" '1500, 900</p> <p>"Gerencia y correspondencia" '1500, 900</p> <p>"Bibliotecas"</p> <p>"Sala de lecturas" '700, 400</p> <p>"Anaqueles" '300, 200</p> <p>"Reparación de libros" '500, 300</p> <p>"Archiveros y catalogar" '700, 400</p> <p>"Mesa checadora de salidas y entradas de libros" '700, 400</p> <p>"Clubes"</p> <p>"Salas de descanso y de lectura" '300, 200</p> <p>"Correos"</p> <p>"Vestibulos, sobremesa" '300, 200</p> <p>"Correspondencia, selección, etc." '1000, 600</p> <p>"Cortes de Justicia (o Tribunales)"</p> <p>"Áreas de asiento (público)" '300, 200</p> <p>"Áreas de actividades propias de la corte" '700, 400</p> <p>"Edificios Municipales"</p> <p>"Bomberos y policía"</p> <p>"Policía"</p> <p>"Archivos de Identificación" '1500, 900</p> <p>"Celdas y cuartos para interrogatorios" '300, 200</p> <p>"Bomberos"</p> <p>"Dormitorios" '200, 100</p> <p>"Sala recreativa" '300, 200</p> <p>"Garage de carro bomba" '300, 200</p> <p>"Escuelas"</p> <p>"Salones de clase" '700, 400</p> <p>"Lectura de movimiento de labios (sordo-mudos), pizarrón, costura" '1500, 900</p> <p>"Galerías de Arte"</p> <p>"Iluminación General" '300, 200</p> <p>"Sobre pinturas (localizado)" '300, 200</p> <p>"Sobre estatuas y otras exhibiciones" '1000, 600</p>	<p>"Altar, retablos" '1000, 600</p> <p>"Coro y presbiterio" '300, 200</p> <p>"Pulpito (iluminación adicional)" '500,300</p> <p>"Nave principal de la Iglesia (iluminación general)" '150, 100</p> <p>"Ventanales emplomados:"</p> <p>"Color Blanco" '500, 300</p> <p>"Color mediano" '1000, 600</p> <p>"Color oscuro" '5000, 3000</p> <p>"Ventanal muy denso" '10000, 6000</p> <p>"Mercados y otras tiendas"</p> <p>"Bodegas y cuartos de almacenamiento:"</p> <p>"Activos" '200, 100</p> <p>"Inactivos" '50, 50</p> <p>"Carnicerías y pescaderías" '500, 300</p> <p>"Cocinas (áreas de trabajo)" '500, 300</p> <p>"Comedores" '300, 200</p> <p>"Cuartos de máquinas" '300, 200</p> <p>"Ferreterías y accesorios eléctricos" '500, 300</p> <p>"Lavadoras para verduras y varios" '500, 300</p> <p>"Mercerías, vestidos y zapaterías" '500, 300</p> <p>"Mueblerías y artículos para el hogar" '500, 300</p> <p>"Papelerías, libros y juguetes" '500, 300</p> <p>"Plataformas de descarga" '200, 100</p> <p>"Sanitarios y baños" '100, 100</p> <p>"Verduras, frutas, flores y plantas" '500, 300</p> <p>"Museos (VER GALERÍAS DE ARTE)"</p> <p>"Oficinas"</p> <p>"Proyectos y diseños" '2000, 1100</p> <p>"Contabilidad, auditoría, máquinas de contabilidad" '1500, 900</p> <p>"Trabajos ordinarios de oficina, selección de correspondencia, archivado activo o continuo" '1000, 600</p> <p>"Archivado intermitente o discontinuo" '700, 400</p> <p>"Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso, archivos de poco uso áreas de poca exigencia visual temporal" '300, 200</p> <p>"Peluquerías y salones de belleza" '1000, 600</p> <p>"Teatros y cines"</p> <p>"Sala de espectáculos:"</p> <p>"Durante intermedios" '50, 50</p> <p>"Durante exhibición" '1, 1</p> <p>"Vestibulo" '200, 100</p>
---	---

Tabla 8. Niveles medios de iluminación recomendados por la SMII.

4.10 Leadership in Energy & Environmental Design (LEED).



Figura 79. Criterios LEED.

LEED por sus siglas en inglés “Leadership in Energy & Environmental Design” es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council).

Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. En lo que sigue figura el contenido del LEED 2009, evalúa el acabado de un edificio según seis criterios

principales: Parcelas sostenibles (26 puntos), eficiencia en el uso del agua (10 puntos), energía y atmosfera (35 puntos), materiales y recursos (14 puntos), calidad ambiental interior (15 puntos) innovación y diseño que se considera de bonificación (6 puntos) más otros 4 puntos por bonificación regional, siendo 100 puntos de base más 10 posibles totales.

El uso eficiente de la energía y calidad ambiental interior, para nuestro caso de estudio, es el valor que más puntúa (Tabla 31 y 32), ya que representa 1/3 de los potenciales puntos a obtener, y es bien sabido, ya que la industria de la construcción consume entre un 30% a 40% de la energía mundial. La generación de energías a partir de combustibles fósiles combustibles, impactan el medioambiente de diversas formas, comenzando por su extracción, transporte, refinamiento y distribución. Los edificios sustentables pueden enfrentar estos problemas de dos formas: reduciendo la cantidad de energía requerida para su funcionamiento y utilizando formas más benignas de energía. Entre mejor es el comportamiento energético de un proyecto, menores son sus costos operacionales. A medida que aumenta la competencia mundial por el suministro combustible disponible, el rango de retorno en medidas de eficiencia energética mejoran (Council, s.f.).

Energía y atmosfera**35 Puntos Posibles**

CRÉDITO	TÍTULO	NC	SCHOOLS	C & S
Prerrequisito 1	Commissioning Fundamental de los Sistemas Energéticos del Edificio	Necesario	Necesario	Necesario
Prerrequisito 2	Mínima Eficiencia Energética	Necesario	Necesario	Necesario
Prerrequisito 3	Gestión Fundamental de Refrigerantes	Necesario	Necesario	Necesario
Crédito 1	Optimización de la Eficiencia Energética	1-19 puntos	1-19 puntos	3-21 puntos
Crédito 2	Energía Renovable en el Sitio	1-7 puntos	1-7 puntos	4 puntos
Crédito 3	Commissioning Mejorado	2 puntos	2 puntos	2 puntos
Crédito 4	Gestión de Refrigerantes Mejorado	2 puntos	1 punto	2 puntos
Crédito 5	Medición y Verificación	3 puntos	2 puntos	N/A
Crédito 5.1	Medición y Verificación – Edificio Base	N/A	N/A	3 puntos
Crédito 5.2	Medición y Verificación – Submedición de arrendatarios	N/A	N/A	3 puntos
Crédito 6	Energía verde	2 puntos	2 puntos	2 puntos

NC= NEW CONSTRUCTION / NUEVAS CONSTRUCCIONES C&S= CORE AND SHELL / NUCLEO Y ENVOLVENTE SCHOOLS= COLEGIOS

Tabla 9. Puntos a obtener en Energía y atmósfera.**Prerrequisito 1 - Commissioning Fundamental de los Sistemas Energéticos del Edificio**

Cuyo objetivo es verificar y asegurar que los elementos y los sistemas fundamentales, del edificio se diseñan, instalan y calibran para funcionar tal y como se pretenden

Prerrequisito 2 - Rendimiento Energético Mínimo

Especifica que se debe de diseñar el edificio para cumplir con la norma 90.1-1999 de ASHRAE/IESNA o los códigos locales de energía, código local de energía, el que sea más restrictivo, teniendo en cuenta lo siguiente:

Consideraciones de Diseño:

- Una envolvente mal diseñada con un sistema HVAC de alta tecnología, no es, íntegramente, una medida eficiente o costo-efectiva. También, antes de mirar las cargas y sistemas de HVAC, mire al diseño de la envolvente así como ventanas para eficiencia energética, muros y cubiertas. El sistema de HVAC también puede ser una buena forma de mejorar el rendimiento, pero primero, el reducir las cargas para lograr equipos más pequeños puede derivar en aun mayores ahorros operacionales.
- Algunas reglas para reducir el uso de la energía:

- Agrupar espacios similares para reducir perdidas por distribución.
- Como promedio, utilice un porcentaje de acristalamiento bajo el 40%.
- Utilice un porcentaje de acristalamiento bajo el 20% para fachadas oriente y poniente, para reducir ganancias solares por bajos ángulos solares, y problemas de encandilamiento.
- Reducir ganancia solar directa a través de orientación, sombreadores y/o geometría del edificio.
- Distribuir las cargas de calefacción y refrigeración de forma uniforme a través de las fachadas para un tamaño más pequeño de los sistemas.
- Diseñar una envolvente hermética y bien aislada para reducir las cargas de calefacción y mejorar el rendimiento del sistema HVAC.
- Utilizar sistemas de calefacción y refrigeración correctamente dimensionados.
- Considere generación de energía renovable In-Situ.
- Considere un amplio rango de estrategias de eficiencia energética y herramientas, incluyendo diseño solar pasivo, luz natural, reducción de requerimientos de refrigeración y ventilación natural para reducir cargas de calefacción y refrigeración.
- Utilice diseño de la envolvente y estrategias de diseño pasivo para reducir las cargas de refrigeración y calefacción, antes de realizar un diseño detallado de los sistemas de HVAC. Las estrategias de diseño pasivo pueden reducir cargas de calefacción y refrigeración, entregando al ingeniero más opciones, como incluir sistemas más pequeños o innovadores.
- La reducción de cargas requiere esfuerzos coordinados por todos los miembros del equipo de diseño incluyendo al arquitecto, diseñador de iluminación, diseñador interior, coordinador de información tecnológica y el mandante.

- Los arquitectos pueden escoger una óptima orientación del edificio, elegir un sistema apropiado de envolvente y diseñarlo para ser hermético, y configurar el programa para utilizar estrategias de diseño pasivo al máximo posible.

Los diseñadores de iluminación ayudan a aprovechar la luz natural, realizando una selección apropiada de luminarias, minimizando los layouts de iluminación (menos luminarias), proveer la mayor cantidad de controles y sensores de luz natural y ocupación para reducir la pérdida de luz.

- Los diseñadores de interior son críticos para seleccionar terminaciones reflectivas para mejorar la iluminación natural y especificar luminarias ENERGY STAR.

- Los especialistas de información en tecnología son importantes, especialmente en edificios con data centers, para la selección de computadores y equipos procesadores de información que reducen la carga de potencia, así como las cargas de refrigeración.

Crédito 1 - Rendimiento Energético Optimizado

Con el propósito de alcanzar niveles en aumento de eficiencia energética por encima de la norma del pre-requisito para reducir los impactos medioambientales asociados con el uso excesivo de energía, y recomienda las consideraciones de diseño del prerrequisito 2: Rendimiento Energético Mínimo.

Prerreq 1	Mínima Eficiencia CAI
Prerreq 2	Control del Humo de Tabaco Ambiental (HTA)
Crédito 1	Seguimiento del Dióxido de Carbono (CO ₂)
Crédito 2	Efectividad de la Ventilación
Crédito 3.1	Plan de Gestión de Construcción CAI, Durante Construcción
Crédito 3.2	Plan de Gestión de Construcción CAI, Antes de Ocupación
Crédito 4.1	Materiales de Baja Emisión, Adhesivos y Sellantes
Crédito 4.2	Materiales de Baja Emisión, Pinturas
Crédito 4.3	Materiales de Baja Emisión, Moquetas
Crédito 4.4	Materiales de Baja Emisión, Madera Compuestas
Crédito 5	Control Fuentes Internas Prod. Químicos y Contaminantes
Crédito 6.1	Capacidad de Control de Sistemas, Perímetro
Crédito 6.2	Capacidad de Control de Sistemas, No-Perímetro
Crédito 7.1	Confort Térmico, Cumplir con ASHRAE 55-1992
Crédito 7.2	Confort Térmico, Sistema Permanente de Seguimiento
Crédito 8.1	Luz Natural y Vistas, Luz Natural en el 75% de los Espacios
Crédito 8.2	Luz Natural y Vistas, Vistas para el 90% de los Espacios

Calidad ambiental interior
15 Puntos Posibles

Tabla 10. Puntos a obtener en calidad ambiental interior.

Crédito 8.1 – Luz natural y vistas: Luz natural en el 75 % de los espacios 1 punto

Propósito:

Proporcionar una conexión entre los espacios interiores y los exteriores para los ocupantes del edificio a través de la introducción de luz natural y vistas dentro de las áreas habitualmente ocupadas del edificio

Requisitos:

Lograr un mínimo Factor de Luz Natural del 2% (excluyendo toda la penetración directa de luz solar) en el 75% de todo el espacio ocupado para tareas críticas visuales. Los espacios excluidos de estos requisitos incluyen salas de copias, áreas de almacén, salas de plantas mecánicas, lavandería y otras áreas de apoyo a la ocupación. Otras excepciones para los espacios donde las tareas se podrían impedir por el uso natural se consideraran según sus características.

Tecnologías y estrategias potenciales recomendadas:

Diseñar el edificio para maximizar la luz natural en el interior. Se consideran estrategias como la orientación del edificio, elementos de sombra, un perímetro mayor del edificio, elementos de sombra permanentes interiores y exteriores, dispositivos de sombra permanentes interiores y exteriores, acristalamiento de alta eficiencia y sensores de luz fotointegrados. Pronosticar la luz natural por cálculos o estrategias de modelos de iluminación con luz natural con un modelo físico o informático para valorar los niveles de candelas/m² y los factores de luz natural logrados.

Crédito 8.2 – Luz natural y vistas: Vistas para el 90 % de los espacios 1 punto

Propósito:

Proporcionar a los ocupantes del edificio una conexión entre los espacios interiores y los exteriores a través de la introducción de luz natural y vistas en las áreas habitualmente ocupadas del edificio.

Requisitos:

Lograr una línea directa de visión a través de los cristales para los ocupantes del edificio en el 90 % de todos los espacios ocupados habitualmente. Ejemplos de excepción, incluyen salas de copias, áreas de almacenamiento, mecánicas, lavandería y otras áreas de apoyo de baja ocupación. Otras excepciones serán consideradas según sus características

Tencologias y estrategias potenciales ecomendados:

Diseñar el edificio para maximizar las oportunidades de visión.

Como vimos LEED es un sistema para certificar Proyecto, Construcción y Operaciones en edificios que pretendan ser más sostenibles. Para obtener la certificación LEED se ha de conseguir una serie de puntos asignados a diferentes aspectos relacionados con la eficiencia energética y la ejecución del proyecto, pudiendo obtener en base a esto lo siguiente (Figura 80) (Council, s.f.):

Número de puntos requeridos:

Certificado: 40 – 49 puntos.

Plata: 50 – 59 puntos.

Oro: 60 – 79 puntos.

Platino: 80 puntos o más.



Figura 80. Certificaciones LEED.

4.11 Illuminating Engineering Society (IES).

IES por sus siglas en Ingles “**Illuminating Engineering Society**” cuyo objetico es mejorar el ambiente iluminado con conocimiento y al traducir ese conocimiento en acciones que benefician a la población. Los miembros de la IES son considerados como profesionales en su industria y se respetan a nivel mundial por sus conocimientos,

pudiendo clasificar el nivel de luminancia de acuerdo a las tareas visuales a realizar y su complejidad como se puede ver a continuación.

***ORIENTACIÓN Y TAREAS VISUALES SIMPLES.** El desempeño visual no es considerablemente importante. Estas Tareas o actividades se relacionan con ESPACIOS PÚBLICOS donde lectura y análisis visuales detallados son ocasionales. Los niveles más altos son recomendados para tareas donde el desempeño visual es ocasional (Tabla 11).

A	Espacios públicos	30 lx	(3fc)
B	Orientación simple con vistas cortas	50 lx	(5fc)
C	Espacios de trabajo, donde se dan tareas visuales simples	100 lx	(10fc)

***TAREAS VISUALES FRECUENTES.** El desempeño visual es importante. Estas tareas son comunes en espacios Comerciales, Industriales, y Residenciales. Los niveles recomendados de iluminancia difieren según las características de las tareas visuales a ser iluminadas. Los niveles más altos de estas categorías se recomiendan para tareas visuales con elementos críticos a bajo contraste y tamaños pequeños (Tabla 11).

D	Realización de tareas visuales de alto contraste y tamaños grandes a distinguir	300 lx	(30fc)
E	Realización de tareas de alto contraste y tamaños pequeños, o tareas visuales de bajo contraste y tamaños grandes a distinguir	500 lx	(50fc)
F	Realización de tareas visuales de bajo	1000 lx	(100fc)

contraste y tamaños
pequeños a distinguir

***TAREAS VISUALES ESPECIALES.** Aplica donde el desempeño visual es de importancia crítica, estas tareas son altamente especializadas, incluyendo aquellas con muy pequeño o muy bajo contraste para visualizar elementos críticos. Los niveles de iluminancia recomendados deberán ser logrados con la ayuda de luz complementaria. Los niveles de iluminancia más altos recomendados serán también logrados aproximando la fuente de iluminación a la tarea a desarrollar (Tabla 11).

	Realización de tareas		
G	visuales próximas al umbral o límite de desempeño visual	3000 a 10000 lx	(3000-10000 fc)

Tabla 11. Niveles de iluminación por IES.

4.12 International Commission on Illumination (CIE).

CIE, Abreviado generalmente por su nombre en francés **Commission Internationale de l'éclairag** es la autoridad internacional en la luz, la iluminación, el color y espacios de color. Fue establecido en 1913 como sucesora de la Comisión Internacional de Photométrie y se basa hoy en Viena, Austria. Cuando se habla de la calidad de la luz en un medio ambiente de trabajo surge: “¿Cuánta luz?” esta cuestión es la primera en preguntar y para ello hay recomendaciones en cuanto a lo que la iluminancia mínima debe ser. La Tabla 39 muestra algunos ejemplos del código CIE para Iluminación interior:

CATEGORIA	ILLUMINANCIA RECOMENDADA (LUX)			EJEMPLO
	20	30	50	
Areas generales donde no hay un uso Permanente o que no demandan de una alta visibilidad en el trabajo o tarea	50	100	150	Areas publicas
	100	150	200	Espacios de breve estadia
	200	300	500	Espacios que no estan en permanente uso
Iluminación general para el trabajo interior	200	300	500	Detalles facil de ver (operación de maquinas)
	300	500	750	Tareas visuales normales (oficinas)
	500	750	1000	Detalles dificil de ver (control de calidad)
Atla demanda de calidad en el trabajo	750	1000	1500	Tareas en un mayor rango de tiempo
	1000	1500	2000	Extremadamente atencion al detalle (ensambles)
	>2000			Tares especiales (cirugias)

Tabla 12. Iluminancia recomendados para lugares de trabajo.

Estas recomendaciones se derivan de pruebas de visibilidad. Son aplicables a las personas de edad mediana, Reflectancias medias en el entorno visual y para las tareas de prioridad normal, y como vemos el área de estudio en nuestro caso puede clasificarse dentro de la segunda categoría en tareas visuales normales en un rango de 300 a 750 lux. En caso de que las condiciones difieran, las iluminancias tendrán que ser ajustadas. La Tabla 40 muestra los factores de corrección para los casos en que los niveles de iluminancia recomendados normales no se pueden aplicar:

CASO	FACTOR DE CORRECCION		
	-1	0	1
Edad del usuario	40	40...55	>55
Reflectancia cerca circundante	>0.7	0.3...0.7	<0.3
Velocidad y precision de la percepcion	Sin importancia	Importante	Muy importante

Tabla 13. Ajuste de los niveles de iluminación recomendados.

Para cada uno de estos casos, los factores de corrección se suman. Si su total es de -3 o -2, se utiliza la iluminancia inferior. Para un factor de ponderación de -1, 0 o 1, no se debe aplicar ninguna corrección. Un total de 2 y 3 significa que las condiciones son bastante pobres, así que se necesita más luz. La mayoría de los países tienen sus interpretaciones específicas de estas recomendaciones CIE.

En las habitaciones que tienen usos múltiples, tales como una oficina general en la que los trabajos son bien hechos, no es necesario tener la mayor Iluminancia recomendada

en toda la habitación. En cambio, la sala se puede dividir en diferentes áreas y por ello, a menudo es un desperdicio de iluminación con un sistema de iluminación general. Iluminación de la tarea localizada puede ser mucho más eficiente y la gente suele preferir porque pueden ajustarla de forma individual y a sus necesidades.

4.13 Conclusiones.

Como vimos a lo largo de este capítulo, el tener iluminación natural al interior de nuestros espacios, nos propicia una mejor visión para poder desarrollar nuestras actividades. De ahí parte la importancia de orientar y diseñar bien los proyectos, de tomar las decisiones adecuadas de que material elegir o como distribuir el mobiliario para evitarle al usuario condiciones no adecuadas de deslumbramiento, exceso de brillos o reflectancias.

Asimismo cada uno de los puntos vistos nos abre las puertas para entender los factores que se necesitan para implementar una adecuada estrategia de iluminación natural en nuestros espacios arquitectónicos, y a pesar de que encontramos barreras a esta forma de iluminación que pese a ser muy utilizada en la antigüedad, hoy en nuestros días ha pasado a un segundo plano debido al desconocimiento y a la falta de normatividad, la cual solo nos habla de iluminación en general, no debemos de olvidar que su origen y su calidad espectral, la hacen un tipo de luz completamente diferente que no ha sido posible reproducirla artificialmente.

Es por estos motivos que en el siguiente capítulo se hablara de la importancia de la luz natural para el ser humano, para comprender su importancia y él porque debería haber condiciones reglamentarias que promovieran su uso en soluciones arquitectónicas.

CAPÍTULO 5

LA IMPORTANCIA DE LA LUZ NATURAL PARA EL SER HUMANO

- 5.1 Los efectos de la luz en la visión.
 - 5.1.1 Riesgos de la luz en el sistema visual.
- 5.2 La importancia de la luz natural en la salud humana.
- 5.3 Desventajas de la iluminación artificial.
- 5.4 Iluminación natural y Productividad Laboral.
- 5.5 La influencia de luz natural y los efectos visuales en el trabajo.
- 5.6 La influencia de luz natural en diferentes ambientes.
 - 5.6.1 Educativo.
 - 5.6.2 Oficinas e Industria.
- 5.7 Conclusiones

CAPÍTULO 5 - LA IMPORTANCIA DE LA LUZ NATURAL PARA EL SER HUMANO.

La salud siempre ha sido uno de los temas más importantes para el ser humano, ésta depende de muchos factores, pero sin duda, uno muy poco conocido pero extremadamente importante es la luz natural, la cual es imprescindible para todo ser vivo ya que rige los ciclos de la naturaleza y sus ritmos cotidianos. La luz natural no solo nos permite una mejor visión de las cosas como ya se vio en el anterior capítulo, sino también nos permite tener una vida más saludable.

En el siglo XX se realizaron varias investigaciones en los Estados Unidos que trataron la influencia de la luz sobre el ser humano en edificios de oficinas, escuelas y centros comerciales; los resultados finales mostraron que la luz natural tiene una influencia positiva para el rendimiento y aprendizaje, además de favorecer la salud.

5.1 Los efectos de la luz en la visión.

Para hablar de la importancia que tiene la iluminación natural en el ser humano, debemos tener en cuenta el órgano que hace posible la función de diferenciar diversos matices que nos permiten ver diferentes colores, contrastes, etc. Sin entrar en detalles el ojo humano cuenta con (Figura 81):

- Una pared de protección que protege de las radiaciones nocivas.
- Un sistema óptico cuya misión consiste en reproducir sobre la retina las imágenes exteriores. Este sistema se compone de córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo.
- Un diafragma, el iris, que controla la cantidad de luz que entra en el ojo.
- Una fina película sensible a la luz, "la retina", sobre la que se proyecta la imagen exterior. En la retina se encuentran dos tipos de elementos sensibles a la luz: los conos y los bastones; los primeros son sensibles al color por lo que requieren iluminaciones elevadas y los segundos, sensibles a la forma, funcionan para bajos niveles de iluminación.

El proceso visual es un proceso tanto sensorial como motor, en el cual, podemos diferenciar tres etapas. La primera consiste en una etapa física en la que la luz que es reflejada por un objeto penetra en nuestro ojo para posteriormente atravesar las diferentes estructuras transparentes: córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo, hasta por fin llegar a

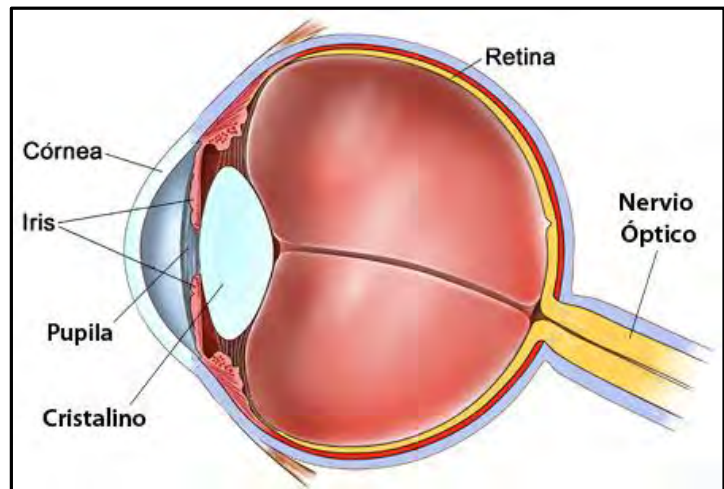


Figura 81. Partes del ojo humano.

enfocarse en la retina, es aquí donde dos tipos diferentes de fotorreceptores absorben fotones de luz incidentes y los convierten en señales eléctricas. Estos fotorreceptores son los que hacen posibles la visión para el ojo humano, siendo los bastones los que tienen mayor sensibilidad absoluta a la luz, por lo que son los responsables de la visión nocturna; mientras que los conos, los cuales son menos sensibles a la luz, se diferencian por su sensibilidad y longitud de onda, siendo identificados tres tipos: los rojos, verdes y azules. Estos tres tipos de conos son los responsables de la percepción del color (Figura 82).

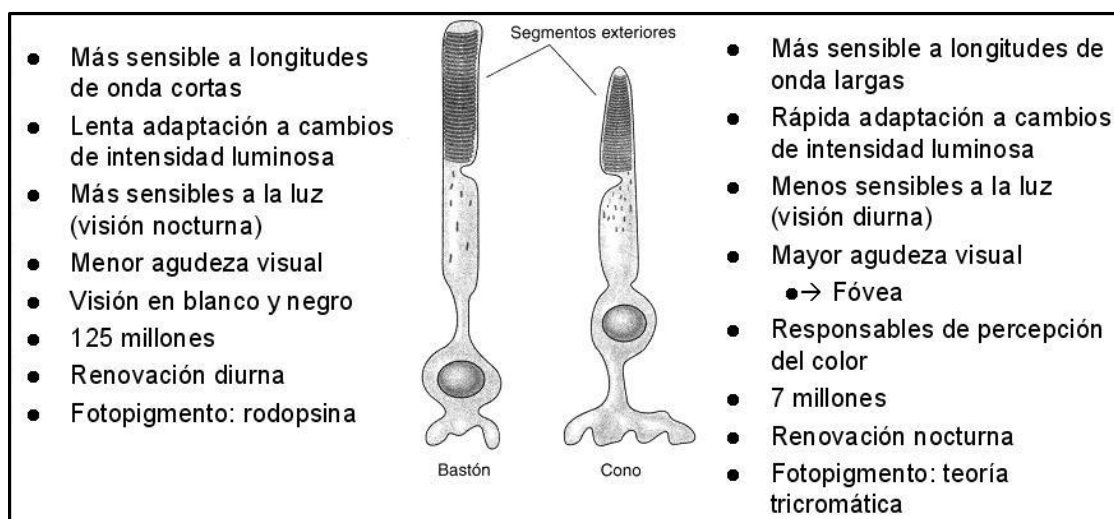


Figura 82. Características de conos y bastones.

En la segunda etapa el estímulo luminoso que se ha recibido, se transforma en impulso nervioso y se dirige a través del nervio óptico hasta el lóbulo occipital del cerebro, para que en la tercera etapa, éste interprete el impulso nervioso y se perciban las imágenes. Para lograr éste proceso visual básico, es necesario que la anatomía del ojo y sus estructuras complementarias se desarrollen perfectamente desde la infancia, además de que no debe existir ninguna alteración que dificulte el proceso de la maduración del sistema visual.

5.1.1 Riesgos de la luz en el sistema visual.

El daño más importante que puede producir la luz incidente sobre nuestros ojos se localiza en la retina. Estos posibles daños que nos puede ocasionar se encuentran en un rango de 400nm - 1400nm, clasificándose en tres tipos:

- Estructurales: causados principalmente por determinadas radiaciones de láser.
- Térmicos: causados por exposiciones breves, como segundos o microsegundos, que producen incremento de la temperatura del tejido de 10° a 20°C por encima de la temperatura ambiente.
- Fotoquímicos: causados principalmente por la radiación de longitud de onda más corta a niveles de intensidad demasiados pequeños como para causar daños térmicos. Se puede producir cuando existe un tiempo de exposición más largo y baja intensidad, haciendo que el aumento de temperatura sea despreciable. Es muy dependiente de la longitud de onda ya que se incrementa mucho en la zona azul del espectro.

Se ha visto que el daño fotoquímico puede ser el causante de algunas retinopatías (Figura 83) asociadas a la exposición solar en entornos muy luminosos, como esquiar o navegar o pilotar aviones. En diferentes estudios, ya se había hablado acerca de estos problemas y por tal

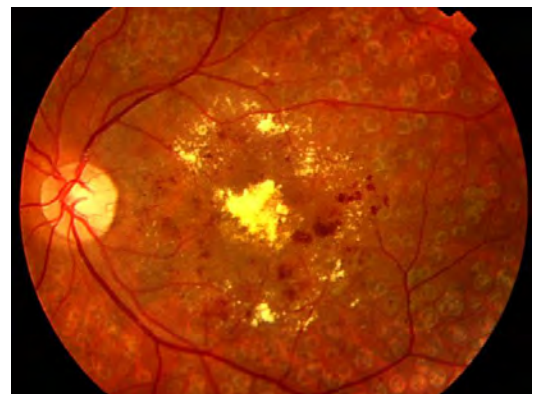


Figura 83. Retinopatía ocular.

motivo se recomienda prudencia y una adecuada protección en determinadas situaciones de mayor riesgo.

5.2 La importancia de luz natural en la salud humana.

En la actualidad, nuestro estilo de vida nos ha llevado a tener que vivir sin luz natural gran parte del tiempo que le dedicamos al trabajo, la mayoría de las veces los edificios de oficinas o el mismo mobiliario se encuentra mal orientado a las entradas de iluminación natural, no dejando otra alternativa más que usar la iluminación artificial; pero ¿por qué es importante para el ser humano la luz natural?

La luz es el marcador temporal de nuestro reloj biológico, un factor importante que influye en el estado de ánimo de las personas desde un punto de vista tanto psicológico como fisiológico. Al exponernos al sol, la mayor parte de la luz que recibimos entra al interior de nuestro organismo y activa el metabolismo, además de influir en los niveles hormonales y en el sistema inmunológico, así como en la asimilación de vitaminas. El no contar con una iluminación natural adecuada produce dolores de cabeza, problemas visuales, fatiga y depresión, entre otros problemas que puede llegar a generar problemas en nuestras actividades cotidianas (Figura 84).

Para hablar de este tema debemos mencionar los antecedentes sobre los estudios realizados sobre las afectaciones desde el punto de vista fisiológico y psicológico. Tal vez el más mencionado ha sido el del Dr. Norman Rosenthal en 1984, el cual estableció la existencia de un desorden afectivo estacional mejor conocido como SAD (Seasonal Affective Disorder), investigación que comprobó que la falta de luz natural provoca graves alteraciones en el estado de ánimo de las personas, debido a las



Figura 84. Dolor de cabeza por falta de una adecuada iluminación natural.

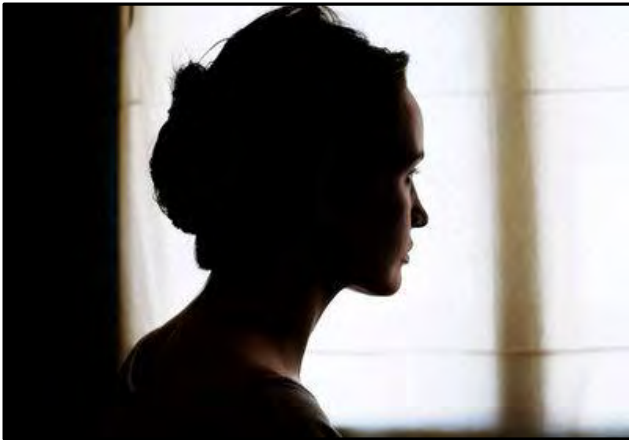


Figura 85. El desorden afectivo estacional mejor conocido como SAD, se caracteriza por tener un desorden afectivo bipolar.

depresiones que persisten en las poblaciones que presentan anualmente una determinada estación del año, especialmente en invierno (Rosenthal, 1984).

La mayor parte de las personas que presentan este padecimiento se caracterizan por tener un desorden afectivo bipolar, y presentar síntomas de fatiga, somnolencia durante el día y

noche, irritabilidad e ingesta excesiva de alimentos, manteniendo éste cuadro alrededor de la misma época cada año, típicamente en los meses de frío para posteriormente desaparecer en primavera y verano (Figura 85). Durante muchos años se han estado investigando tanto las causas como los tratamientos para esta enfermedad, y aunque el origen de la enfermedad se desconoce, muchos investigadores lo atribuyen a la falta de coincidencia de los ritmos circadianos de una persona y los patrones ambientales de luz y oscuridad; esto último, porque la iluminación solar es limitada en los meses de otoño e invierno, lo que ocasiona que muchas personas deban levantarse antes de la salida del sol y dormir mucho después de la puesta del Sol (Sakamoto K., 1995).



Figura 86. La fototerapia ha sido el tratamiento con mayor eficiencia para personas con el síndrome de desorden afectivo estacional.

Entre los tratamientos para esta enfermedad se encuentran la fototerapia, la farmacoterapia (principalmente antidepresivos) y tratamientos de tipo psicosocial. Pero diversos autores confirman la superioridad de la terapia con luz frente al uso de placebos, teniendo una mayor eficiencia siendo aplicada

por las mañanas que por las tardes (Figura 86) (Thompson, 2002).

Entre los efectos secundarios descritos para la fototerapia (Tabla 12) destacan dolor de cabeza, problemas de visión u oculares, náuseas o vómitos, agitación, sedación o vértigo. Y a pesar de que aún no hay un estudio que de muestre la comparativa de usar luz natural en contra de tratamientos de iluminación artificial, como lo es la fototerapia, investigadores no dudan que la primera trae mayores ventajas que la segunda, además de no presentar efectos que dañen a las personas.

Efectos secundarios	Frecuencia (%)
Dolor de cabeza	21
Problemas de visión u oculares	19
Náuseas o vómitos	7
Hipomanía o agitación	6
Sedación	6
Vértigo	3
Ansiedad/sensaciones extrañas	3
Presión en el pecho	1
Irritabilidad	1

Tabla 14. Efectos secundarios de la fototerapia (Kogan AO, 1998).

A partir de este tipo de investigaciones, así como de otras que se han desarrollado en torno a este tema, podemos ver la importancia de los espacios arquitectónicos respecto



Figura 87. La entrada de iluminación natural a los espacios disminuye la incidencia de problemas de salud.

a su desempeño en la salud humana. Podemos afirmar que la iluminación natural dejó de ser vista como un simple atractivo para los espacios habitables, volviéndose imprescindible para poder desarrollar casi todas las actividades cotidianas (Figura 87); es así como diferentes investigadores han dado a conocer sus estudios y reflexiones sobre

la relación de la luz natural con la arquitectura, como fue el caso del artículo publicado por el arquitecto John Eberhard, quién fue fundador de Academia de Neurociencias para la Arquitectura (Academy of Neuroscience for Architecture) en 2003, en donde sus investigaciones consisten en estudiar cómo percibe nuestro cerebro los espacios en que vivimos y la forma en que la iluminación natural influye en él, para así poder concebir edificios que respondan a las necesidades de las personas y sus emociones (Eberhard, 2009).

Así como estas investigaciones han demostrado la importancia de contar con iluminación natural al interior de los espacios, estudios han demostrado que las ventanas que dejan tener contacto del interior de un espacio hacia el exterior del mismo, son factores que reducen el estrés y el malestar, disminuyendo la incidencia de problemas de salud, y ayudando en gran medida al tener menor contacto a la exposición de las fluctuaciones rápidas, más conocidas como “flicker”, que se presentan en los dispositivos que generan luz artificial y que generan daño a la salud visual, causando dolores de cabeza a algunas personas. Otro de los efectos más importantes que ocurren en el ser humano, es cuando



Figura 88. Luz solar como fuente de producción de la vitamina D.

la luz llega a la retina de los ojos por medio de nuestro sistema visual, dando paso a la reacción del metabolismo y a sistemas como el hormonal y el endocrino, mientras que cuando la luz interactúa con la piel (en una reacción parecida a la fotosíntesis) se realiza la producción de la Vitamina D (Figura 88).

Pero al igual que la luz natural es buena para el ser humano, también resulta ser un problema cuando se expone a ella por demasiado tiempo, debido a que puede causar daños en los tejidos y en la piel (Figura 89). Como es bien sabido, la luz de sol lleva

consigo radiación ultravioleta que puede ocasionar graves enfermedades tanto a la piel como a los ojos si se expone mucho a ellos, estos problemas no solo se presentan bajo condiciones de insolación en un espacio exterior, sino que también pueden ser propiciadas por las condiciones que se dan en espacios interiores mal diseñados desde el punto de vista lumínico.

Y aunque también se presentan cosas negativas de luz solar, diferentes sistemas y diseños

pueden mitigar tales efectos hasta hacerlos nulos al interior de los espacios arquitectónicos, además que los beneficios de contar con iluminación natural son mucho mayores a sus desventajas.

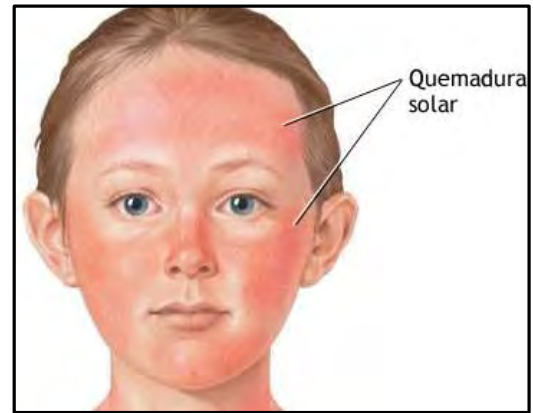


Figura 89. La sobreexposición a la luz solar puede ocasionar problemas a la piel.

5.3 Desventajas de la iluminación artificial.

Desde la primera bombilla inventada hasta la actualidad, se ha producido una evolución significativa en los sistemas de iluminación. En toda esta evolución hemos conocido muchos tipos de lámparas y cada una de ellas tenía, tiene y tendrá sus ventajas y sus inconvenientes.

En la actualidad, el sistema de iluminación LED se ha apoderado cada vez más del mercado, y al igual que muchos de sus antecesores, tendrá cosas buenas y malas en su funcionamiento. Si bien es cierto que su alta intensidad luminosa proporciona una mejor visibilidad con menos consumo de potencia o energía para conseguir la misma iluminación de sistemas anteriores o incluso una superior, también debemos tener en cuenta que existen factores que perjudican a las personas. Si se mira fijamente, sobreexponiéndonos a la luz emitida, o si lo acercamos a una distancia inferior a 20 cm, puede provocar deslumbramiento y por lo tanto incomodidad.



Figura 90. Daño en la retina a causa del uso de luces LED.

Además que los LED rojos están hechos de una sustancia tóxica llamada arseniuro de galio y aluminio, o AGA (por sus siglas en inglés)(Figura 90), y a pesar de que no existen muchos estudios o información sobre el impacto que tiene en la salud de los trabajadores que están expuestos a estas partículas, un artículo de A. Tanaka, autor de un estudio publicado en "Toxicology and Applied Pharmacology", afirma que se ha probado

científicamente que el AGA, un material semiconductor, es tóxico para los animales, quienes presentan problemas en los riñones, pulmones y órganos reproductivos. Teniendo esto en cuenta, recomienda prestar mucha más atención a la exposición humana a estos materiales semiconductores (Tanaka, 2004).



Figura 91. Daño en la retina a causa del uso de luces LED.

Asimismo, las luces LED han sido criticadas por la gente que está preocupada por el daño a la retina que pueden causar, presentan una acumulación de un residuo celular llamado lipofuscina²³ en el epitelio de la retina es responsable del daño (Figura 90). No obstante, la cantidad de daño que puede causar, depende de la protección que trae el producto, siendo que mientras más grande y brillante es la fuente de iluminación, mayor es el riesgo potencial para la retina.

La luz ultravioleta (UV), es otro de los problemas que causan los sistemas de iluminación artificial, ésta es producida por bombillas fluorescentes y aunque no es perjudicial para la

²³ La lipofuscina es un pigmento marrón que queda de la descomposición y absorción de los glóbulos sanguíneos dañados.



Figura 92. Los rayos UV de las bombillas fluorescentes pueden ser destructivos a nivel celular.

mayoría de la gente, en algunos casos, puede ser destructiva a nivel celular; es por eso que a las personas que presentan daño en sus ojos son muy susceptibles a la luz ultravioleta, y por lo tanto deben evitar éste tipo de lámparas (Figura 92). La sobreexposición de los rayos UV provoca quemaduras a corto plazo, pero se torna un serio problema cuando la exposición es prolongada, ya que estudios demuestran el posible riesgo de desarrollar cáncer de piel, así como cataratas.

5.4 Iluminación natural y Productividad laboral.

Al hablar de las investigaciones que se han hecho entorno a la salud humana y a la iluminación natural, nos realizamos una pregunta, ¿hasta qué punto la luz natural puede influir en el estado psicológico de las personas para que éstas desarrollen adecuadamente sus actividades visuales?. Y es que a menudo pasamos por alto, que el contar con una buena iluminación puede tener un gran impacto en la productividad de las empresas.

Estudios han revelado que existe una fuerte relación entre la exposición a la luz del día en el lugar de trabajo y el sueño, el nivel de actividad y la calidad de vida; así como un punto de concordancia entre el desempeño visual y la sensación de satisfacción del usuario, misma que aumenta de forma proporcional al nivel de iluminación, sin embargo la cantidad de luz natural que puede recibir el ojo humano tiene un límite máximo. Se ha encontrado que para una misma tarea visual se puede requerir de un 20% menos iluminancia en condiciones de luz natural que con luz artificial. Esta diferencia se atribuye a las cualidades con las que cuenta la luz natural, a su carácter dinámico y distribución espectral.

Se ha descubierto que las personas que trabajan en oficinas y no proveen de una iluminación adecuada para realizar sus actividades laborales, el cerebro de éstas, no funciona de una manera activa y empiezan a sentir somnolencia, cansancio, se vuelven pasivos y lentos en su trabajo, para terminar siendo poco productivos para la empresa. Por desgracia, nos hemos acostumbrados a ver centros de trabajo a oscuras, donde la mayor parte de iluminación es artificial y no suele ser la correcta para los espacios, terminando por generar atmósferas agobiantes y opresoras; y ocasionando una iluminación deficiente que provoca fallos en la atención de los trabajadores, mayor nivel de errores y por qué no decirlo, en algunos casos, mayor número de accidentes por falta de visibilidad o incremento del cansancio.

La luz natural en muchos casos, al igual que las vistas son algunos de los temas que encabezan el orden de importancia que determinan los usuarios de los lugares donde realizan su trabajo. Una investigación en una compañía norteamericana, reveló que al reubicar a sus empleados en nuevas instalaciones que contaban con mejores condiciones de luz natural, se incrementó la productividad de hasta el 5% mientras que sus ventas al consumidor se alzaron hasta un 25% en comparación a los resultados de su antiguo lugar de trabajo (Boubekri, 2008).



Figura 93. Una buena iluminación puede aumentar la productividad de los trabajadores.



Figura 94. Oficinas con mala iluminación causan pérdidas de productividad.

5.5 La influencia de la iluminación natural y los efectos visuales en el trabajo.

La iluminación para el trabajo abarca una extensa gama de tareas laborales diferentes: que van desde pequeñas oficinas hasta grandes naves industriales; dónde los principales trabajos son la lectura y escritura a mano o con computadoras, labores de precisión o pesadas tareas fabriles. Por lo que la calidad de la iluminación siempre debe ser elevada

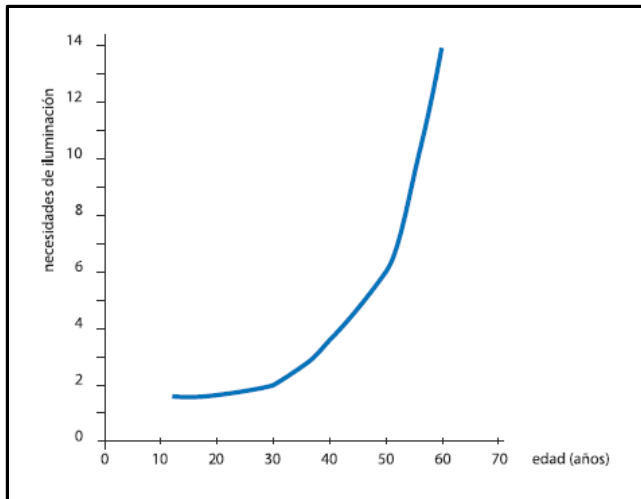


Figura 95. Relación entre la edad y la necesidad de luz para leer un libro (Brainard, 2001).

para poder garantizar un buen rendimiento visual para la tarea a realizar, aunque se debe tener en cuenta las propias habilidades visuales del trabajador. Es en la edad, donde se forma un criterio muy importante, dado que la visión se va perdiendo conforme las personas se hacen mayores. En la Figura 95 podemos observar la cantidad relativa de luz que se necesita para leer un libro bien impreso, en función de la edad.

La Figura 96 resume un gran número de resultados de investigación sobre la influencia de la calidad de la iluminación en el rendimiento visual. Indica el rendimiento visual relativo en función del nivel de iluminación, en diferentes tareas visuales difíciles: uno para una tarea moderadamente difícil, como es el trabajo de oficina y trabajo general con maquinaria en un entorno industrial, y otro para una tarea difícil, como es el trabajo de montaje fino. Todas estas tareas muestran un claro aumento del rendimiento visual paralelo al incremento de la calidad de la iluminación: en este ejemplo, paralelo al nivel de iluminación. En el gráfico se indican los niveles de iluminación necesarios para entornos industriales, como en muchos de los casos especificados en la norma europea de iluminación de los lugares de trabajo (CIE, 1986).

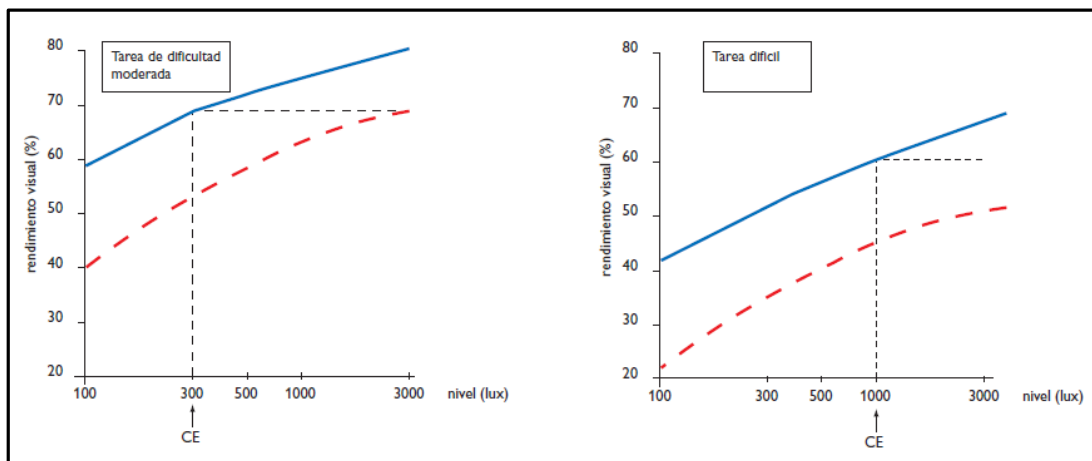


Figura 96. Relación entre el rendimiento visual relativo (en %) y el nivel de iluminación (en lux). Línea azul continua: personajes jóvenes, línea roja discontinua: personas mayores.

Como hemos visto, el tener una buena iluminación mejora los resultados de rendimiento visual, lo que a su vez genera una mayor productividad en el trabajo reduciendo el número de errores. Aunque debemos tener en cuenta que es la tarea a desarrollar por el empleado, la que rige el grado de iluminación que se debe tener en los espacios.

Como hemos estado viendo, se han realizado diversos estudios que comparan los efectos sobre la salud en personas que trabajan en condiciones no adecuadas de iluminación. Uno de ellos nos demuestra que al tener un mayor nivel de iluminación en

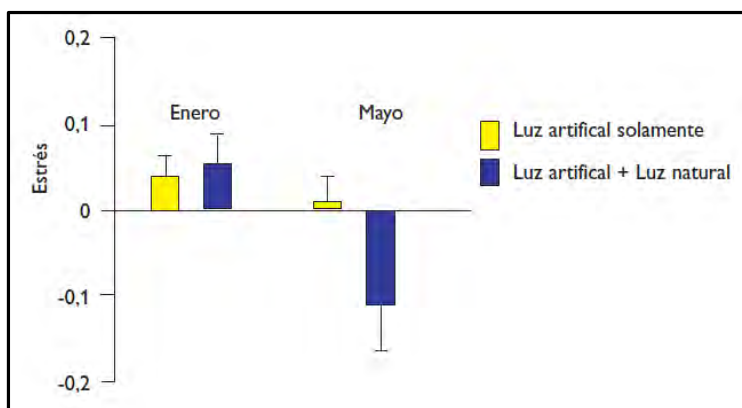


Figura 97. Nivel de quejas sobre estrés (con dispersión estadística) en un grupo de trabajadores que utiliza bajo luz artificial exclusivamente, o con luz artificial y natural combinadas.

oficinas o industrias, se puede contrarrestar la fatiga que sienten los trabajadores, y por lo tanto, verse reflejado en la productividad del trabajador (Tops, 1998).

En la Figura 97 se observan los resultados de estudios sobre los niveles de estrés y de malestar en personas que trabajan en espacios interiores de oficinas, y

dónde se han comparado dos grupos, uno que sólo usa luz artificial y otro que utiliza luz artificial y luz natural combinadas. En el mes de enero existió poca diferencia entre los resultados de los dos grupos debido a la poca penetración de luz natural por la posición del Sol, pero en mayo, cuando había una adecuada iluminación natural el grupo mostraba menos quejas por estrés (Partonen, 2000).

5.4 La Iluminación Natural en diferentes ambientes.

5.4.1 Educativo.

Los centros educativos están dedicados a la enseñanza, donde niños, jóvenes y adultos realizan determinado tipo de actividades, es por eso que la iluminación debe estar dotada de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y eficiente; dado que esto proporciona tanto a los estudiantes como a los profesores un ambiente agradable y estimulante, que les permite realizar sus tareas sin demandar de ellos un esfuerzo visual. Tanto arquitectos como diseñadores de iluminación, o profesionistas de diversos campos, han tomado gran interés en los ambientes de aprendizaje y particularmente en la forma en que los estudiantes son afectados por las condiciones de luz natural y artificial en los salones o espacios donde estudian, por lo que hay numerosas investigaciones que se han enfocado a este tema.

Así como hemos visto que la iluminación influye en la productividad de las personas, también ocurre lo mismo en el rendimiento de los alumnos. Uno de los estudios más importantes que se concentró en el análisis de más de 21,000 alumnos en los estados de California, Colorado y Washington en los Estados Unidos de América (HERSCHONG MAHONE GROUP, 1999), donde el estudio se centraba en un interés particular por la luz natural proveniente de domos y tragaluces, con el fin de aislar los efectos de iluminación de la luz natural proveniente de ventanas. Se midió el desempeño de los alumnos en sus clases y se hizo un tratamiento estadístico junto una correlación entre el rendimiento y la cantidad de luz disponible en los salones; obteniendo como resultado un progreso del 20% en las pruebas de matemáticas que se les hicieron a los estudiantes que se



Figura 98. Efectos de iluminación en ventanas (reflejos deslumbramientos) afectan el desempeño de los estudiantes.

encontraban con mayor cantidad de luz, así como un 26% en pruebas de lectura y comprensión. De estos resultados se realizó una correlación en el tipo de luz natural y se encontró que para salones con un área mayor de ventana existe una relación del 15-23%; mientras que los salones que contaban con domos y tragaluces, existía una relación de 19-20% en el mejor desempeño escolar y en el caso de salones con ventanas operables, existe una relación de 7-8%,

por lo que comprobaron que los efectos de iluminación que llegan a existir en las ventanas, tales como reflejos y deslumbramientos, afectan en el desempeño de los estudiantes (Figura 98).

Aunque cabe aclarar que estos resultados no son determinantes para afirmar que la luz natural es el principal factor que influye en el rendimiento escolar de nuestro país, existen muchos más factores que afectan la forma en que los alumnos estudian en los espacios educativos como lo son: procesos cognitivos, tipo de enseñanza por parte de los profesores, el material de estudio, entre muchos más. Pero si se puede decir que la relación que existe entre el grado de satisfacción de los alumnos con el espacio donde realizan sus actividades de estudio, como es el salón de clase, los factores físicos de iluminación sí terminan influyendo en el comportamiento de los usuarios, ya que la iluminación afecta las condiciones visuales de los estudiantes y puede representar, tanto una ventaja como una desventaja al momento de realizar sus actividades.

5.4.2 Oficinas e Industria.

Para optimizar el rendimiento, es esencial contar con una buena iluminación en el puesto de trabajo, además de asegurarnos una buena distribución del mobiliario para que al realizar las tareas se cuente con la debida cantidad de luxes, en especial, si el personal

tiene ya cierta edad. El contar con una iluminación adecuada influye positivamente en el cumplimiento de los trabajadores, ya que se reducen considerablemente el número de errores, aumentando la eficacia del trabajador.

En la figura 99 se muestra el número de accidentes laborales de una industria metalúrgica en función del nivel de iluminación y por tipo de lesión, dónde se observa una tendencia clara a la reducción del número de accidentes cuanto mayor es la calidad de la iluminación (PHILIPS, 2010).

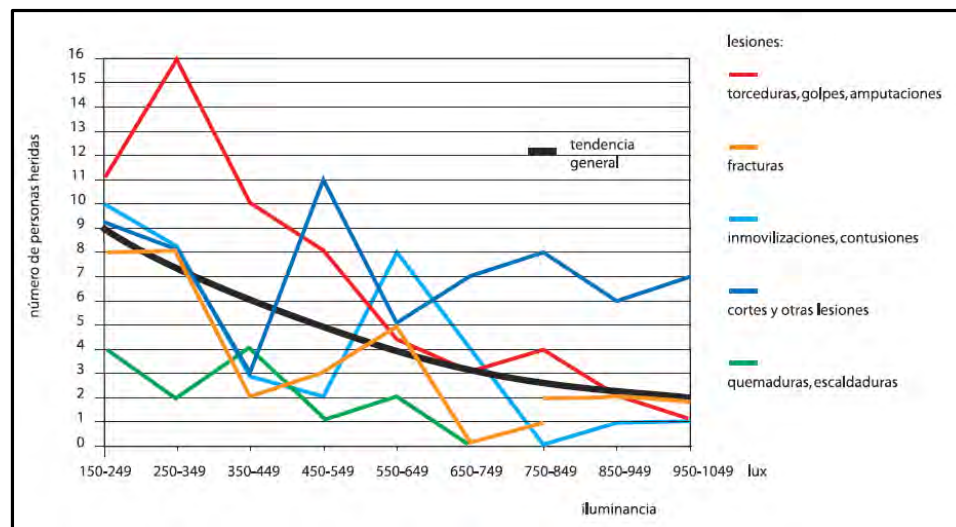


Figura 99. Número de accidentes laborales en función de iluminación y por tipo de lesión.

Como hemos venido diciendo, no es sólo el nivel de iluminación en el espacio, sino todos los aspectos relacionados con la calidad de la luz, los que intervienen a la hora de prevenir accidentes. Son diferentes tipos de problemas los que se pueden generar por no contar con un sistema lumínico adecuado, ya sea en oficinas o industrias; y van desde simples deslumbramientos hasta una iluminación con escaso rendimiento en color que puede dar lugar a interpretaciones erróneas en situaciones potencialmente peligrosas.

Nuevas técnicas y equipos de iluminación han permitido a los diseñadores proveer de confort lumínico tanto a oficinas como a industrias, por lo que el principal objetivo de éstos sistemas debe ser el crear un ambiente placentero y seguro, en el cual puedan desarrollar

adecuadamente su trabajo diario y provean de máxima seguridad a todos los trabajadores.

En ambos ambientes se comprende un amplio rango de tareas visuales y condiciones de operación, las cuales pueden ser grandes o pequeñas; de materiales sólidos o traslúcidos; con superficies especulares o difusas; posicionadas en planos verticales, horizontales o incluso inclinados. Pero sin importar la condición en que la tarea se realice, la iluminación debe proveer de una visibilidad adecuada sin que los trabajadores deban esforzarse visualmente (Figura 100).



Figura 100. La iluminación debe proveer de una visibilidad adecuada a los trabajadores para desarrollen sin problemas sus actividades.

5.6 Conclusiones.

Gracias a las numerosas investigaciones que se han realizado entorno a la iluminación natural junto a los efectos que ésta tiene tanto en la salud como en la productividad de las personas, podemos comprender todas las condiciones que se necesitan para beneficiar a los usuarios en sus espacios. Aparte de las ventajas para la salud y el bienestar para los mismos trabajadores, vemos que realmente existe un mejor rendimiento en las actividades que se realizan, y así mismo, esto provoca que haya menos errores y accidentes laborales. El efecto general de todo ello es: mayor productividad para las empresas.

En un entorno industrial con tareas visuales de dificultad moderada, se da un aumento total de la productividad en función de un mejor nivel de iluminación, cifras que pueden ser similares en un entorno de oficina. La tabla nos ofrece un resumen de los resultados (van Bommel, et al., 2002).

Mejora del Nivel de Iluminación	Aumento de la Productividad
De 300 a 500 lux	8%
De 300 a 2000 lux	20%

Tabla 15. Aumento de la productividad en la industria metalúrgica en una tarea visual de dificultad moderada, expresado según el efecto conjunto de la mayor productividad, la reducción de los errores y rechazos y la reducción de accidentes (van Bommel, et al., 2002).

Y es así como damos fin a este capítulo para poder dar paso al siguiente donde se verán las estrategias de diseño para sistemas de iluminación natural, así como factores importantes que afectan a los usuarios y no son tomadas en cuenta a la hora de proyectar.

CAPÍTULO 6

LA IMPORTANCIA DE LA LUZ NATURAL PARA EL SER HUMANO

6.1 Entorno y género de edificio.

6.2 Planificación solar.

6.2.1 Implantación del edificio y coordenadas geográficas.

6.2.2 Geometría Solar.

6.2.3 Métodos de análisis.

6.2.4 Orientación.

6.2.5 Factores climatológicos del sitio. Radiación, nubosidad e insolación.

6.3 Espacios Arquitectónicos.

6.3.1 Parámetros de diseño.

6.3.2 Profundidad y tamaño.

6.3.3 Elementos de captación de luz.

6.3.4 Acabados. Colores y reflectancias.

6.3.5 Ergonomía y distribución de mobiliario.

6.3.6 Factor de luz de día.

6.4 La ventana como elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural.

6.4.1 Forma, tamaño y orientación.

6.4.2 Acristalamiento.

6.5 Conclusiones.

CAPÍTULO 6 - ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL EN EDIFICACIONES.

En los pasados capítulos hemos visto cómo influye la iluminación en diferentes aspectos, así que en éste procederemos a dar información y recomendaciones sobre la implementación de sistemas de iluminación natural, con el fin de poder desarrollar un criterio más amplio en los lectores sobre los factores que se deben tener en cuenta a la hora de integrar estrategias de iluminación natural a los proyectos. Ya que la finalidad de dichos sistemas siempre será la calidad y confort visual de los usuarios, así como el mayor uso de energía renovable que ayude a mitigar los efectos del cambio climático y concienticen a las personas sobre las ventajas del uso eficiente de la energía solar en las edificaciones.

Por lo tanto, en los siguientes temas veremos la relevancia que tienen las estrategias de diseño para la iluminación natural en función a diversos factores que se deben tomar en cuenta desde el principio, al igual que la función de cada espacio junto a la actividad que el usuario realizará en él.

6.1 Entorno y género de edificio.

En grandes ciudades como la nuestra siempre han existido los diferentes problemas para cubrir todas las necesidades de la población, siendo que en la actualidad, muchas de las decisiones urbanísticas tomadas hace años cobran relevancia por los efectos que han venido dejando, tanto sociales como de calidad de vida de los individuos y de su medio ambiente (CSCEA, s.f.). Junto a esto, se añade que el arquitecto o proyectista da poca importancia a lo que tiene a sus alrededores y al potencial que puede alcanzar su proyecto, ya que las decisiones tomadas al principio pueden conllevar consecuencias importantes en lo que se refiere a la sustentabilidad de un edificio.

En lo que se refiere a la iluminación y a la Cd. de México en especial, se puede notar el gran derroche de energía eléctrica que hay en los edificios de oficinas en horarios laborales diurnos, ya sea por un mal hábito en sus ocupantes, como por necesidad de

éstos al no contar con una adecuada iluminación; siendo este último uno de los grandes problemas en la mayoría de los edificios de la ciudad, dado que no presentan remodelaciones desde su construcción hace ya varias décadas y por lo tanto, no cumplen con las necesidades actuales de la época independientemente cuál sea el género de este.

Cuando hablamos del género del edificio, podemos darnos cuenta que existen un sin fin de clasificaciones dependiendo cada autor, siendo el arquitecto muchas

veces llevado por lo que marcan los reglamentos de cada zona, pero es él, el quien termina interpretando para representar las ideas y deseos de sus clientes en los espacios, ya sea de manera constructiva o psicológica.

El Ing. Arq. A. Plazola Cisneros clasifica los géneros de edificios y sus principales subdivisiones de acuerdo a las funciones del urbanismo moderno en cuatro géneros:

- 1) Habitar: Se refiere a ofrecer refugio y seguridad a las personas, como casa habitación, hoteles, departamentos, albergues, posadas, etc.
- 2) Trabajar: Cuya función principal es proveer espacios para desarrollar actividades productivas como industrias, almacenes, bodegas, refinerías, despachos, etc.
- 3) Circular: Tienen como objetivo brindar servicios de comunicaciones, transportes y estancia temporal, tales como estaciones de transportes, compañías telefónicas, Telégrafos, etc.
- 4) Cultivo de personalidad: Espacios recreativos y tienen como función principal la alimentación de la cultura, Auditorios, escuelas, universidades, Iglesias, etc.

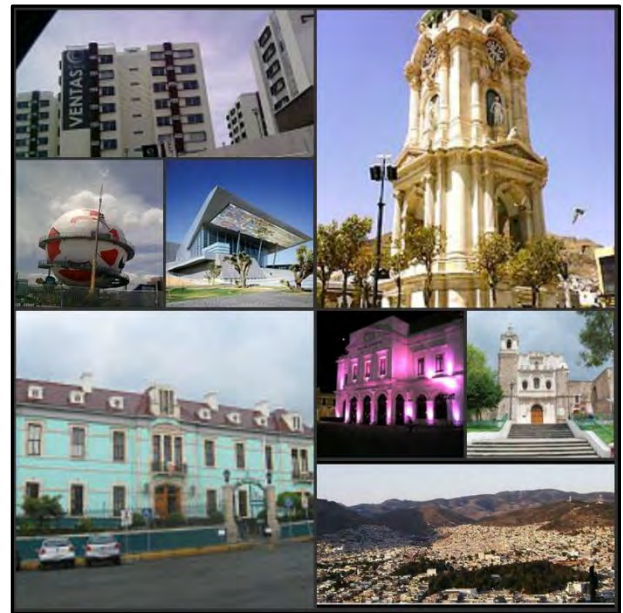


Figura 101. Diversidad de género de edificios.

6.2 Planificación solar.

Hemos visto ya el impacto que tiene la urbanización en las sociedades y como termina influyendo en el proyecto. Pero en el ambiente solar, las consideraciones urbanas terminan afectando de forma importante la manera de iluminar los espacios interiores, y por ende, a los usuarios; es por eso que desde el principio del proyecto se debe tener en cuenta el entorno de este, y estudiar todas las posibles opciones de iluminación natural que nos puede dar el sitio.

“Un buen proyecto debería explotar o manipular las características del solar para reducir el consumo de energía en los edificios. El objetivo es crear las mejores condiciones posibles para el edificio y sus ocupantes, y una interacción más positiva con el entorno más amplio”²⁴.

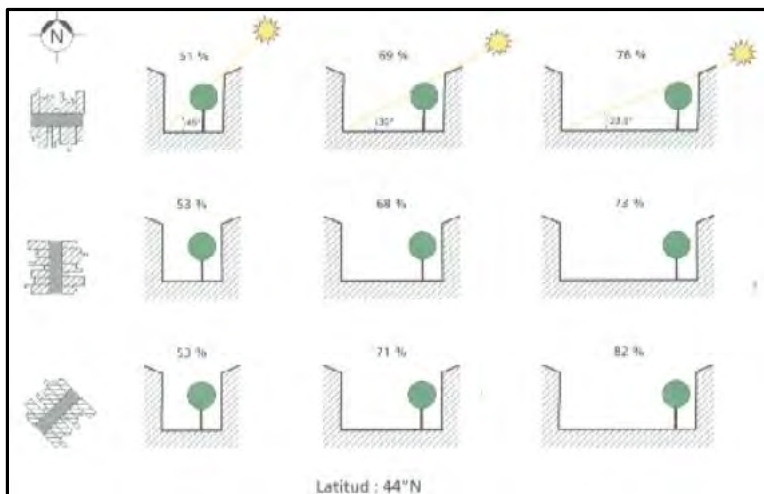


Figura 102. Asoleo en función de la distancia entre edificios.

Es cierto que en la mayoría de los proyectos desde el inicio se tiene contemplado el uso de iluminación natural por medio de lo más común que es una ventana, pero en estos tiempos eso ya no basta, se tiene que tener en mente el uso de fuentes alternativas de energía y sacar el mejor provecho de estas.

Las relaciones entre los edificios del lugar, la topografía del terreno, la orientación solar y la vegetación existente, son solo algunos factores que deben reaccionar conjuntamente para poder lograr nuestros objetivos y tener un adecuado uso de los sistemas naturales de iluminación.

²⁴ McNicholl, A.; Lewis, J. Owen, (eds.), *op. cit.*

6.2.1 Implantación del edificio y coordenadas geográficas.

Al momento de pensar en un diseño de luz natural, es primordial empezar por la etapa de distribución de los espacios dentro de la misma ubicación, esto debido al impacto que puede tener el entorno inmediato en la cantidad y calidad de luz que puede llegar a entrar en los espacios; asimismo, los cambios estacionales son otro factor que deben tenerse en cuenta a la hora de proyectar por las necesidades que se pudieran presentar en ciertas épocas que se necesitara enfriar o calentar algún espacio.

Para saber la ubicación exacta del sitio debemos ayudarnos de las coordenadas geográficas que se crean a partir de la relación de la red que conforman los paralelos y meridianos, estas coordenadas son la Latitud y la Longitud, mientras que una tercera que es la Altitud, nos permite fijar una posición en el aire.

La **longitud** es la distancia angular entre el meridiano de un lugar y el de Greenwich (meridiano 0°), expresándose en grados, minutos y segundos, y se mide de 0 a 180° dependiendo se encuentre en el Este u Oeste a partir del meridiano de Greenwich. La **latitud** es la distancia angular entre el paralelo de un lugar y el Ecuador, se expresa en las mismas unidades que la longitud y se mide de 0 a 90 hacia el Norte o el Sur (Figura 103).

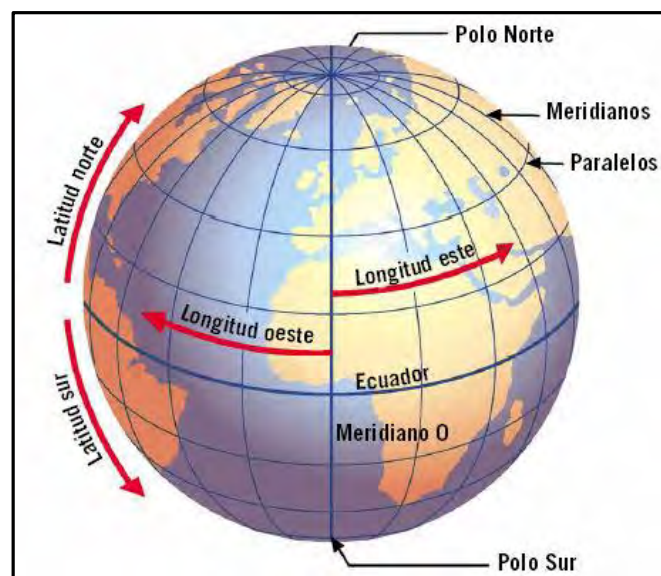


Figura 103. Coordenadas geográficas.

En el caso particular de México, el territorio se extiende entre los paralelos $14^{\circ} 32' 27''$ N y el paralelo $32^{\circ} 43' 06''$ N; así mismo está comprendido entre las longitudes oeste de Greenwich de $118^{\circ} 22' 00''$ W y $86^{\circ} 42' 36''$ W respectivamente. Mientras que la Cd. de México cuenta con una latitud de $19^{\circ}25'42''$ N y una longitud de $99^{\circ}07'40''$ W, con una altura media de 2240 msnm. (Tamayo, 1987) (Figura 104).

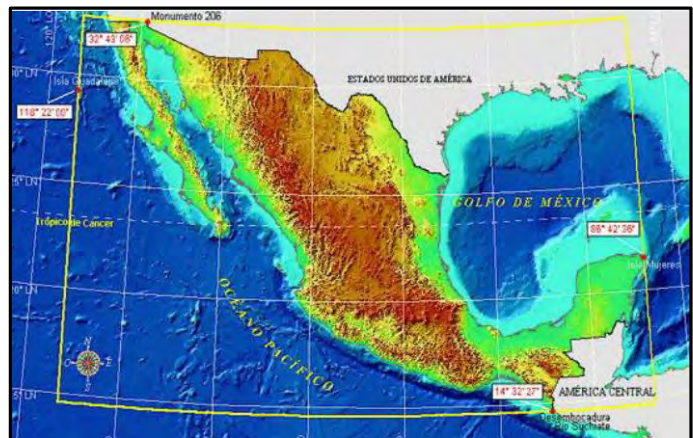


Figura 104. Coordenadas extremas de México.

Pero la incidencia de los rayos solares que llegan al planeta van cambiando según la latitud, siendo prácticamente paralelos. Esto es debido a que la Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° (Figura 105). Es esta inclinación la que ocasiona los cambios diurnos en la radiación solar incidente, así como los cambios estacionales del planeta. Es por eso que en zonas tropicales cercanas al Ecuador, la incidencia de los rayos es casi vertical y constante, lo que implica que los cambios estacionales en aquellas regiones apenas y sean perceptibles (Figura 106).

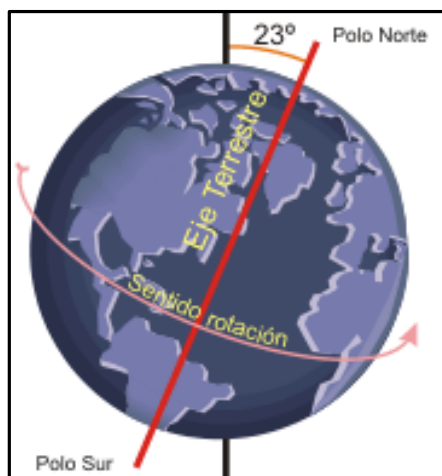


Figura 106. Inclinación del eje Terrestre.

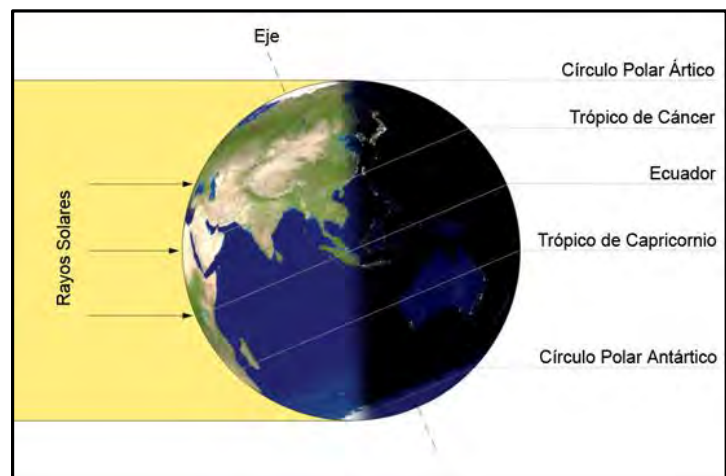


Figura 105. Incidencia de los rayos solares a la Tierra.

Para latitudes norte se enumeran algunas estrategias:

- Baja relación entre superficie y volumen;
- Aumento de la ganancia solar;
- Reducción de la superficie orientada a norte o expuesta a los vientos dominantes;
- Utilización de atrios y patios como zonas amortiguadoras térmicas y para introducir luz natural en plantas profundas;
- Utilización de la inercia térmica para almacenar el calor producido por la ganancia solar y transmitirlo a medida que descienden las temperaturas interiores.

Para latitudes sur:

- Baja relación entre superficie y volumen;
- Reducción de la superficie orientada al sur;
- Creación de aleros, soportales, contraventanas y marquesinas para sombrear el cerramiento;
- Situación de huecos en la fachada sombreada del edificio;
- Utilización de patios para crear bolsas de aire frío cerca del edificio y proporcionar luz natural a plantas profundas.

6.2.2 Geometría solar.

Dentro del proceso de implementar estrategias de diseño para la iluminación natural, debemos hablar de la importancia que tiene la geometría solar en la arquitectura; ya que al saber cómo es el comportamiento del Sol y la trayectoria de sus rayos, se puede lograr una adecuada orientación que favorezca el factor lumínico dentro de los espacios, además de poder diseñar tanto aberturas como dispositivos de control solar de una manera eficaz (Figura 107).

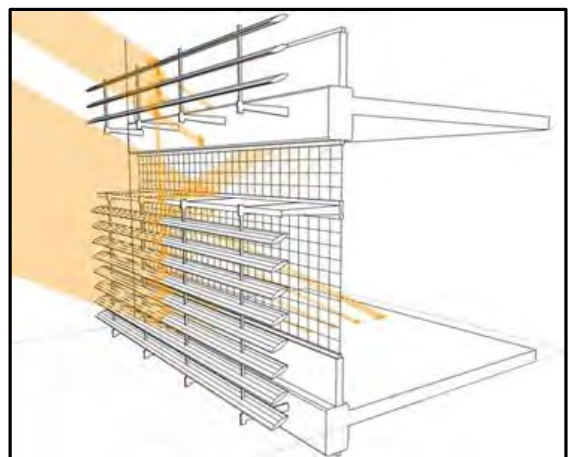


Figura 107. Diseño de dispositivos de control solar a través del conocimiento de geometría solar.

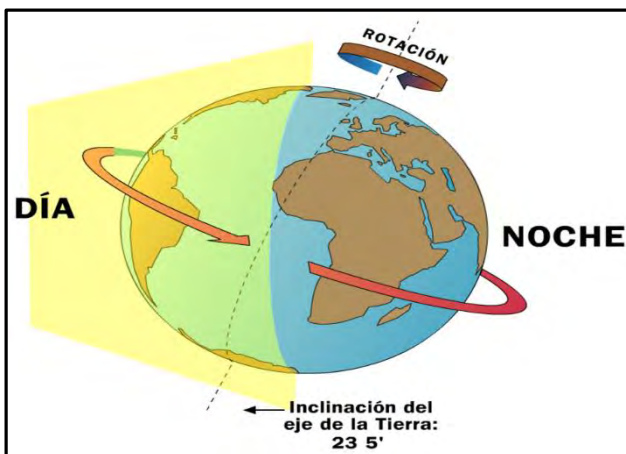


Figura 108. Movimiento de rotación de la Tierra.

Como sabemos, la tierra cuenta con varios movimientos pero solo dos son de importancia. El primero de ellos es el movimiento de translación, el cual tiene un recorrido orbital alrededor del sol que transcurre en un año solar de 365d 5h 48m 45.19s; y el segundo es el movimiento de rotación sobre su eje que hace posible el día y la noche, con una duración de 23h 56m 4.0989s (Figura

109). Es debido a este eje y a su inclinación, ya antes mencionada, que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre en un punto distinto cada día del año; teniendo su máxima declinación de $23^{\circ}27'$ en el hemisferio Norte el día 21 de junio, mejor conocido como el solsticio de verano, mientras que en el hemisferio Sur ocurre lo mismo con la misma declinación el día 21 de diciembre que es el solsticio de invierno, en ambos casos el ángulo respecto al eje de rotación es de $63^{\circ}33'$. Son dos veces cuando los rayos solares inciden con una declinación de 0° sobre el ecuador, la primera ocurre el 21 de marzo y se conoce como equinoccio de primavera; la segunda se da el 23 de septiembre y se conoce como equinoccio de otoño (Figura 108).

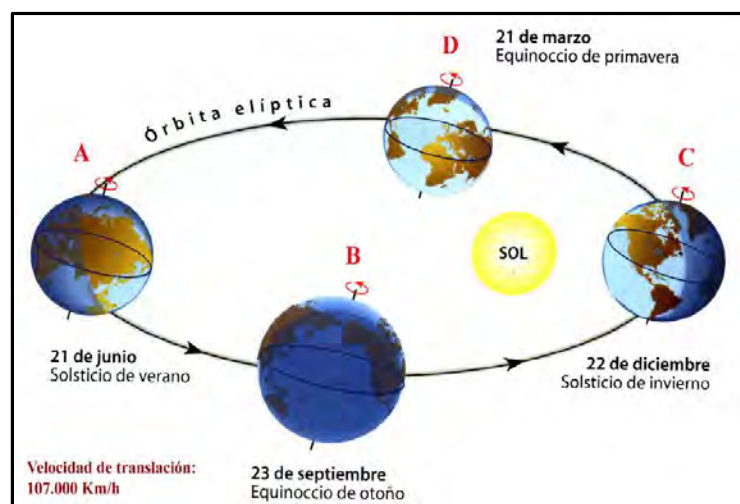


Figura 109. Trayectoria de la Tierra alrededor del sol y cambios estacionales.

Para calcular la irradiación solar que llega a una superficie horizontal sobre la superficie de la tierra, es necesario entender la posición del sol en el cielo y las coordenadas sobre ésta. Cuando un observador se sitúa sobre una superficie plana llamada horizonte, puede ver el desplazamiento del sol a lo largo de todo el año sobre la bóveda celeste (esfera imaginaria); al punto vertical más alto de ésta se le denomina cenit y al punto diagonalmente opuesto del cenit se denomina nadir.

El cenit es el ángulo entre el cenit local y la línea que une al observador y el sol, teniendo un ángulo que varía entre 0° y 90° . La altura solar o elevación solar, es el ángulo formado por el rayo solar dirigido al centro de la bóveda y al plano del horizonte, midiéndola de este último hacia el cenit, de 0° a 90° . El azimut solar es el ángulo en el cenit local entre el plano del meridiano del observador y el plano de un gran círculo que pasa por el cenit y el sol, es decir, es el ángulo formado por la proyección del rayo solar sobre el horizonte

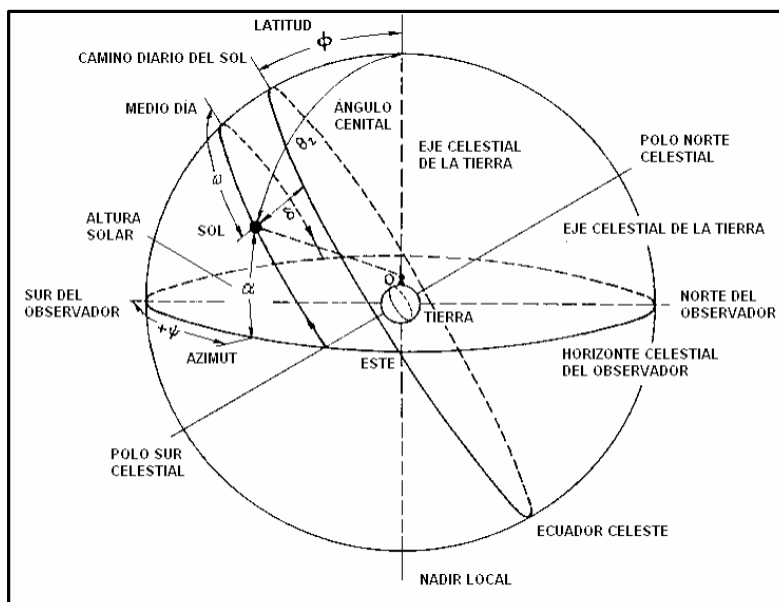


Figura 110. Bóveda celeste y coordenadas del sol relativas a un observador ubicado sobre la Tierra en el punto O.

con el eje norte-sur verdadero; en términos de arquitectura bioclimática (en el hemisferio norte) se mide a partir del sur y puede ir de 0° a 180° hacia el este u oeste. Por último, el ángulo horario es el arco del ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador y el meridiano del sol, contado desde el mediodía solar cambia 15° por hora (Figura 110).

6.2.3 Métodos de análisis.

Existen tres formas de conocer y analizar el comportamiento solar:

1. Métodos gráficos: los cuales a pesar de no proporcionar información precisa o exacta, pueden ser fácilmente traducibles a través de diagramas que pueden tener distinta finalidad, como lo son diagramas de trayectoria y posición solar: diseño, análisis y evaluación de sistemas y dispositivos de control, orientación y ubicación de los espacios, análisis de obstrucciones etc. y diagramas para la estimación cuantitativa de la energía solar (Figura 111).

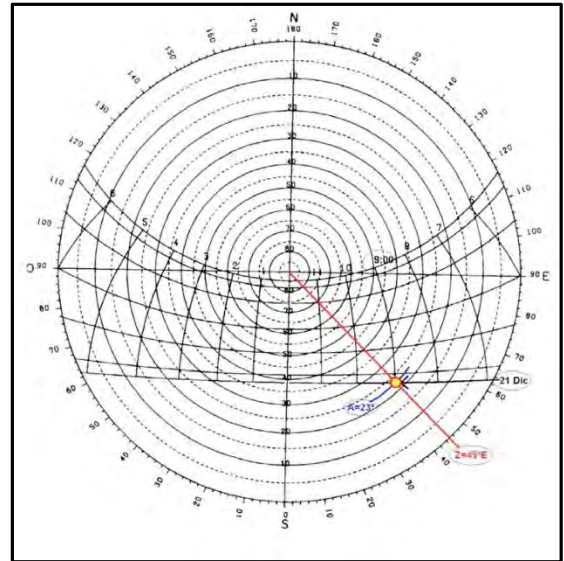


Figura 111. Carta solar Estereográfica.

2. Modelos físicos de simulación: son maquetas y heliodones, que nos dan únicamente una visión cualitativa del comportamiento del edificio (Figura 112).

3. Métodos matemáticos: proporcionan información precisa, utilizada principalmente para fines técnicos como lo son: balances de energía, análisis y evaluación de materiales constructivos y su transferencia térmica, diseño de sistemas y dispositivos solares activos, etc.

Gracias a este último, podemos determinar las coordenadas solares en forma precisa. Ahí radica la importancia de saber la ubicación geográfica del sitio donde se realizará el



Figura 112. Heliodon.

proyecto, para proceder a hacer el análisis. Los datos que se necesitan son:

- Latitud (I);
- Longitud (L);
- Día del año (n);
- Hora solar necesaria para determinar la posición solar (expresada en grados). El ángulo horario (t) a las 12:00 h es igual a 00.00°; donde 1°= 4 minutos y 15°= 60 minutos.

Este último punto se define de la siguiente manera:

- a.m. = positivo (+);
- p.m. = negativo (-);

Por lo que a las 10:00 h el ángulo horario es igual a +30°; mientras que las 14:00 h sería un ángulo igual a -30°. Esto quedaría indicado por la siguiente expresión:

$$t = (12 - hora) 15$$

Ecuación 7. Ángulo horario.

El primer paso en el cálculo es determinar la declinación (d), la cual puede obtenerse a partir de la ecuación de Cooper:

$$d = 23.45^\circ \operatorname{sen} \left(360 \left(\frac{(284 + n)}{365} \right) \right)$$

Ecuación 8. Ecuación de Cooper.

Para la pasada ecuación:

- n = número del día consecutivo del año;

Para establecer las siguientes ecuaciones, las coordenadas solares son:

- h = altura;
- z = acimut;

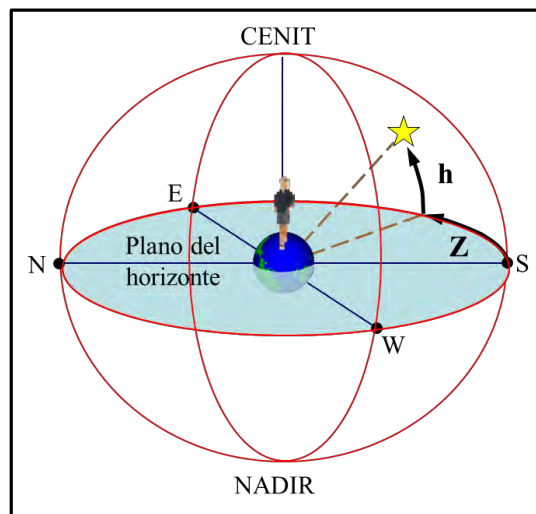


Figura 113. Ángulo de acimut (z) y altura (h).

Altura solar:

$$\text{sen } h = (\cos I \cdot \cos d \cdot \cos t) + (\text{sen } I \cdot \text{sen } d)$$

Ecuación 9. Altura solar.

Acimut solar:

$$\cos z = (\text{sen } h \cdot \text{sen } I - \text{sen } d) / (\cos h \cdot \cos I)$$

Ecuación 10. Acimut solar.

Con estas expresiones se puede calcular la longitud del día, desde que el sol sale del orto hasta llegar al ocaso; recordando tomar la altura (h) = 0.

$$w = 2 (\text{arc cos}(-\tan I \cdot \tan d))$$

Ecuación 11. Ángulo horario.

O bien:

$$\text{duración del día} = w/15$$

Ecuación 12. Duración del día en horas.

Mientras que el Orto y el Ocaso se definen por:

Orto:

$$w_1 = +\arccos(\tan I \cdot \tan d)$$

Ecuación 13. Ángulo horario del Orto.

O bien:

$$Orto = w_1/15$$

Ecuación 14. Orto en horas.

Ocaso:

$$w_2 = -\arccos(-\tan I \cdot \tan d)$$

Ecuación 15. Ángulo horario del Ocaso.

O bien:

$$Ocaso = (w_2/15) + 12$$

Ecuación 16. Ocaso en horas.

Latitud (I)	Altura solar (h)
Longitud (L)	Acimut (z)
Día del año (n)	Duración del día (w)
Declinación (d)	Orto (w ₁)
Ángulo horario (t)	Ocaso (w ₂)

Tabla 16. Datos de posición solar.

Al contar ya con los anteriores datos se puede definir el ángulo de incidencia que tiene el rayo solar al impactar en cualquier superficie inclinada con un ángulo (S) respecto al plano horizontal, con una orientación (o) con respecto al sur. Así que este ángulo de incidencia (θ) se puede definir como el ángulo que se forma entre el rayo solar y la normal a la superficie.

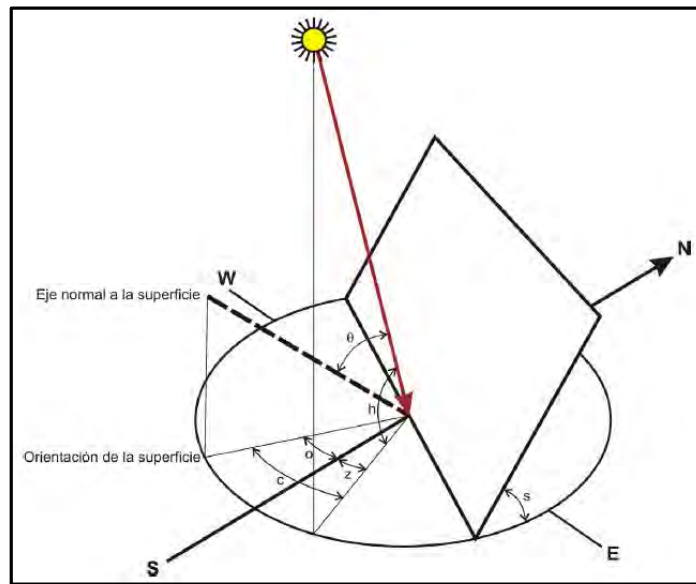


Figura 114. Ángulo de incidencia.

$$\cos \theta = (\cos h \cdot \cos C \cdot \sin S) + (\sin h \cdot \cos S)$$

Ecuación 17. Ángulo de incidencia horizontal.

Donde:

- θ = ángulo de incidencia
- h = altura solar
- C = ángulo formado entre el acimut del rayo solar y la proyección horizontal de la normal de la superficie; u orientación de la fachada (o).
- S = inclinación de la superficie con respecto al plano horizontal.

En caso de que la superficie sea vertical, como lo sería una fachada, la ecuación sería:

$$\cos \theta = (\cos h \cdot \cos C)$$

Ecuación 18. Ángulo de incidencia vertical.

Cabe aclarar que las ecuaciones antes vistas están dadas en Tiempo Solar Verdadero²⁵. Así que para obtener el Tiempo Oficial, se tendría que hacer una conversión a partir de la siguiente ecuación:

$$TIEMPO\ SOLAR = TIEMPO\ OFICIAL + ET + 4(Lr - Lloc)$$

Ecuación 19. Tiempo Solar.

Donde:

- ET = Ecuación del tiempo
- Lr = Longitud del meridiano de referencia horaria oficial
- Lloc= Longitud del meridiano del lugar (local)

Para la ecuación del tiempo (ET) se puede usar la siguiente fórmula o consultarla en el Anuario Astronómico Nacional.²⁶

$$ET = ((0.000075 + 0.001868 \cos(G) - 0.032077 \operatorname{sen}(G) - 0.014615 \cos(2G) - 0.04089(2G)) * 229.$$

Ecuación 20. Fórmula de Spencer (ecuación del tiempo) (Muhammad, 1983).

Donde:

- ET = Ecuación del Tiempo
- G = Ángulo diario (en radianes)
- $G = 2\pi(n-1) / 365$
- n = número de día consecutivo de año (1-365)

²⁵ El tiempo solar verdadero es el tiempo observado por el movimiento diario del Sol en el firmamento, basado en el día solar verdadero, que es el intervalo entre dos retornos sucesivos del Sol a un meridiano local.

²⁶ Anuario del observatorio Astronómico Nacional 2007 Instituto de Astronomía UNAM, México, D.F. 2007. de acuerdo al Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial 1° de marzo del 2002.

6.2.3 Orientación.

La luz natural puede llegar al espacio tanto de forma directa como indirecta, y los factores que influyen para iluminar un espacio de esta manera, como ya hemos visto, son muy diversos. Al ser las fachadas las primeras que reciben los rayos solares, su orientación se vuelve uno de los factores más importantes a la hora de hacer la distribución de los distintos espacios junto al diseño de ventanería.



Figura 115. La orientación es la ubicación de fachadas y distribución de los espacios con respecto al recorrido solar.

Una orientación integral adecuada de la edificación que contemple lo anterior nos permite conseguir buenos resultados para mantener una temperatura agradable durante las estaciones frías y ambientes frescos durante el verano, además permite maximizar resultados

cuando sea necesario aislar, iluminar o ventilar los ambientes, haciendo posible la mejor distribución y aprovechamiento de todas las áreas, ubicando a los que por su uso o destino no requieran una climatización permanente como por ejemplo la zona de lavandería, despensa, almacén o closets hacia las áreas más expuestas y ubicar a los dormitorios y sala hacia las áreas más protegidas (Figura 115) (Granados H., 2006).

A partir de la orientación podemos saber que fachada resultara beneficiara y a cual debemos prestar atención, y ante la distribución de los espacios debemos recordar que el recorrido solar varía a lo largo del año, teniendo días más cortos o largos dependiendo la época en la que nos encontremos (Figura 116). Es aquí donde las coordenadas geográficas toman relevancia,

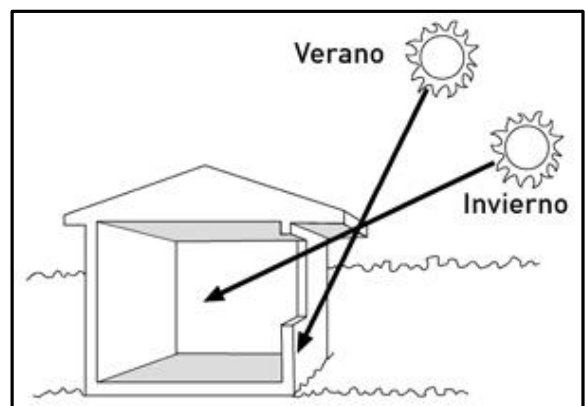


Figura 116. El recorrido solar varía dependiendo la estación.

ya que dependiendo el lugar donde se encuentre la edificación, los rayos incidirán sobre las fachadas en distinto ángulo, y como antes se mencionó, este es el ángulo solar.

Pero al diseñar iluminación natural debemos contemplar todas aquellas obstrucciones que pudieran interponerse en la entra de luz al espacio, así como cuidar la orientación que se le vaya a dar a la ventana con relación al sol, ya que afectará significativamente la ganancia solar del edificio, siendo el sudoeste la peor orientación que se puede proponer para una ventana en un sitio donde la insolación es un tema recurrente, los rayos solares no solamente son intensos en primavera y otoño, sino que también tienen

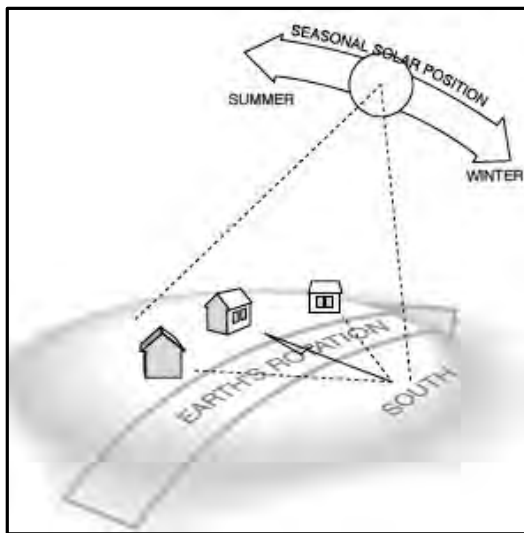


Figura 117. Disposición solar del edificio.

un bajo ángulo de incidencia y por lo tanto las ganancias obtenidas podrían significar un discomfort térmico para los usuarios (Figura 117). En la latitud Norte, correspondiente a la Cd. de México, la trayectoria solar tiene una inclinación hacia el sur, es por esto que algunas estrategias de diseño bioclimático utilicen las fachadas con esa orientación para captar la luz solar o decidan protegerlas, según sea la necesidad. A continuación se anuncian algunos criterios para las fachadas en orientaciones principales:

- Norte: esta orientación es la más fría, solo da el sol las primeras horas de la mañana y las ultimas de la tarde en verano; permaneciendo en la sombra el resto del año.
- Noreste: El sol incide perpendicularmente al salir por las mañanas de verano, aunque debido a la poca altura que tiene sobre el horizonte, la energía aportada a la fachada es pequeña. A lo largo del verano, durante la primera mitad de la mañana recibe sol, mientras que en invierno permanece siempre en la sombra.
- Este: recibe el sol por la mañana, en verano de forma intensa y en invierno no tanto, debido a que en verano inciden los rayos del sol perpendicularmente a ella

a media mañana cuando el sol está en lo alto. En invierno el sol sale por el sureste e incide con cierta inclinación.

- Sureste: la orientación sureste es una de las mejores, recibe el sol por las mañanas de forma oblicua en verano y perpendicular en invierno, pero se debe tener cuidado, ya que la insolación continúa hasta las primeras horas de la tarde. La orientación sureste es la que da una temperatura más uniforme.
- Sur: en invierno le da el sol durante todo el día, con la ventaja de que a causa de la poca altura que tiene sobre el horizonte incidiendo perpendicularmente, mientras que en verano no le da el sol directamente ni en la mañana ni en la tarde, siendo que los rayos solares solo inciden oblicuamente sobre ella.
- Suroeste: es similar a la sureste, el sol incide sobre ella a partir de las últimas horas de la mañana y durante toda la tarde. Debido a que por la mañana el sol ha ido calentando el ambiente (edificio, aire, etc.), esta orientación proporciona temperaturas más extremadas que la sureste.
- Oeste: es similar a la orientación este, pero como en el caso de la orientación suroeste, el fuerte calentamiento del día, especialmente en verano, hace que el sol incida sobre ella a media tarde de forma perpendicular, calentándose considerablemente, mientras que las mañanas al tener siempre sombra, son muy frías. En invierno, el sol incide oblicuamente por la tarde. En instalaciones de aire acondicionado, las habitaciones con ventanas al oeste son las que requieren mayor potencia frigorífica.
- Noroeste: una orientación desfavorable, pues todas las ventajas de la orientación sureste son ahora inconvenientes. En invierno no recibe el sol, por lo que es muy fría, mientras que en verano, a última hora de la tarde, el sol incide de lleno sobre ella calentándose fuertemente.

Es por estas razones que en regiones cálidas son preferibles las orientaciones norte, noroeste y este, mientras que en las frías se opta por la sureste, sur y suroeste. En general, las orientaciones al este son preferibles a sus homologas con componentes

oeste, debido a que la primera tiende a suavizar las temperaturas del día y de la noche, mientras que la segunda llega a extremarlas.

6.2.4 Factores Climatológicos del sitio. Radiación, nubosidad e insolación.

Al referirnos del clima y del tiempo, debemos aclarar antes ambos términos. El tiempo es el estado de la atmósfera que se caracteriza por una combinación de elementos con valores específicos, en un lugar concreto y en un momento dado, por lo que el tiempo es del mismo modo dinámico; mientras que el clima es el estado de la atmósfera, es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre, es decir que, aunque se refiere a los mismos fenómenos del tiempo, el clima los considera de una manera más duradera o estable, ya que, aunque comprende los distintos tipos de tiempo que se presentan en un lugar, se define por el estado atmosférico más frecuente (Fuentes, 2004).

Así que las estrategias pasivas que se manejan en la arquitectura bioclimática, están determinadas principalmente por el clima del lugar; y aunque usualmente se refiere a un clima de una región, a veces pueden existir microclimas locales a los que se les tenga una estrategia completamente diferente. En esta investigación, la caracterización de climas en México es importante debido a su gran diversidad por su ubicación geográfica. En amplias zonas de la República Mexicana están representados los grupos de climas A, B y C de Köppen; los climas D no existen en un país de latitudes subtropicales y tropicales, como es el caso de México, y los climas E se encuentran solo en área reducidas a las montañas de altitud superior a los 4000 msnm, cabe recordar que cada una de las propuestas presenta las modificaciones de la Dra. Enriqueta García (Figura 118).



Radiación Solar.

El astro solar de nuestro sistema es una gigantesca bola de gas que presenta grandes temperaturas en su interior, donde se presentan procesos de intercambio de energía; al presentar pequeños cambios en sus propiedades físicas, llega a tener efectos enormes en el clima del planeta, y por lo tanto en la vida de los seres que habitan en él. Así que la radiación solar se puede definir como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas, donde existe una transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Como ya hablamos en pasados capítulos, estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos constituyen lo que conocemos como luz visible.

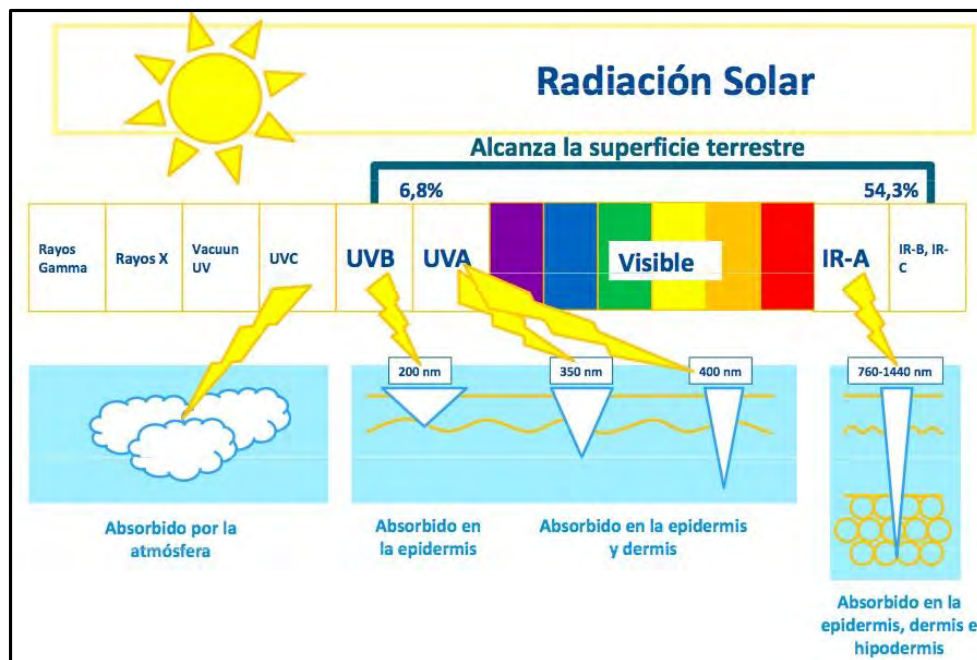


Figura 119. Radiación y espectro solar.

Este tipo de energía puede estimarse en el límite de la atmósfera y es conocida como la constante solar, la cual es la cantidad total de energía solar que atraviesa en un minuto una superficie perpendicular a los rayos incidentes con un área de 1 cm^2 , que se encuentra a la distancia media existente entre tierra-sol, siendo su valor aceptado de 1367 W/m^2 (Alma Rosa Ortega Mendoza, 2012).

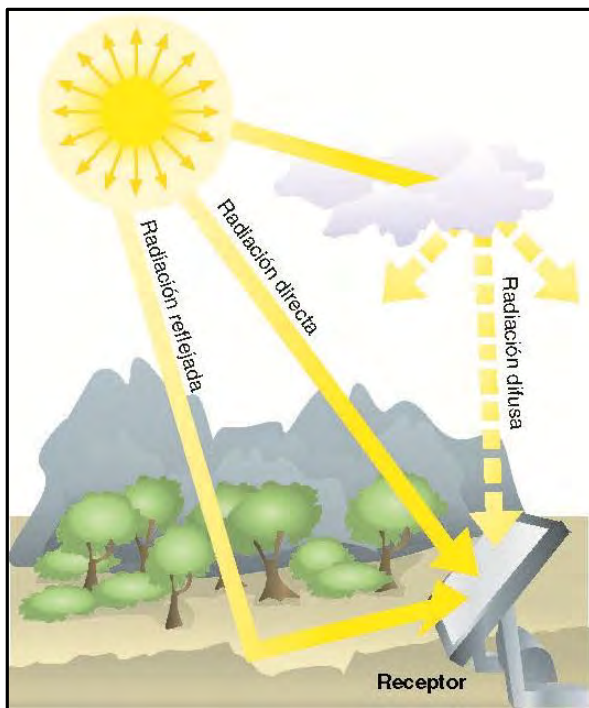
La claridad atmosférica se encuentra fuertemente influenciada por el grado de cobertura de las nubes sobre la tierra, por lo que es una variable de difícil caracterización, presentando tres fenómenos importantes:

1. Difusión ya sea por moléculas de aire, vapor de agua y/o polvo:

Esto da origen a lo que se conoce como “radiación difusa” (I_{dif}) en contraposición a la radiación que no sufre este proceso y llega directamente se llama radiación directa (I_{dir}) más la radiación reflejada o de albedo (I_{alb}), la suma de esos valores es la radiación global (I_g), la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$I_g = I_{dif} + I_{dir} + I_{alb}$$

Ecuación 21. Radiación global.



La radiación difusa es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica, en otras palabras, es la que se recibe a través de las nubes y proviene del cielo azul, es gracias a ella que se torna de ese color, ya que de no haber esta radiación el cielo se vería negro de día, tal y como sucede en la luna. Mientras que la radiación directa, es la que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y las más importante en las aplicaciones fotovoltaicas. (Figura 120).

Figura 120. Radiación difusa, directa y reflejada.

2. Radiación absorbida ya sea por el ozono, agua y/o anhídrido carbónico.

La absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia de vibración molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura. El mejor ejemplo que podemos tener aquí es el de la capa de ozono, quien absorbe la radiación ultravioleta, mientras que el vapor de agua absorbe fundamentalmente la radiación infrarroja (Figura 122).

3. Radiación de Albedo.

La capacidad de reflexión o fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie se denomina Albedo, el promedio en el planeta es de un 30%, y dado a que esta energía se pierde, no interviene en el calentamiento de la atmósfera (Figura 121).

De toda la radiación Solar, solo el 47% llega al planeta Tierra, de este porcentaje podemos desglosar los siguientes datos:

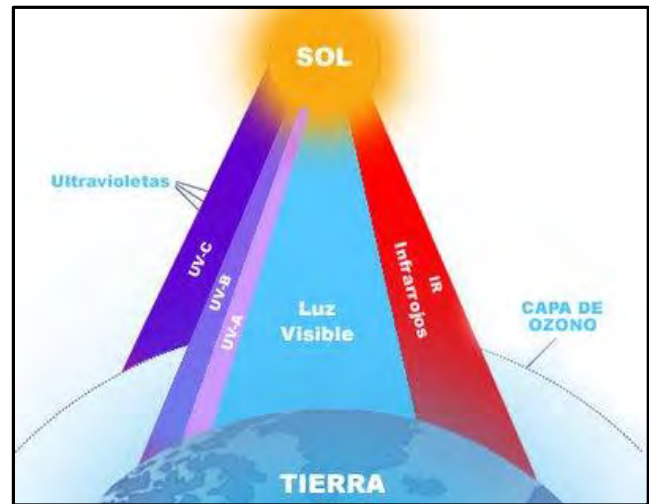


Figura 121. Radiación absorbida

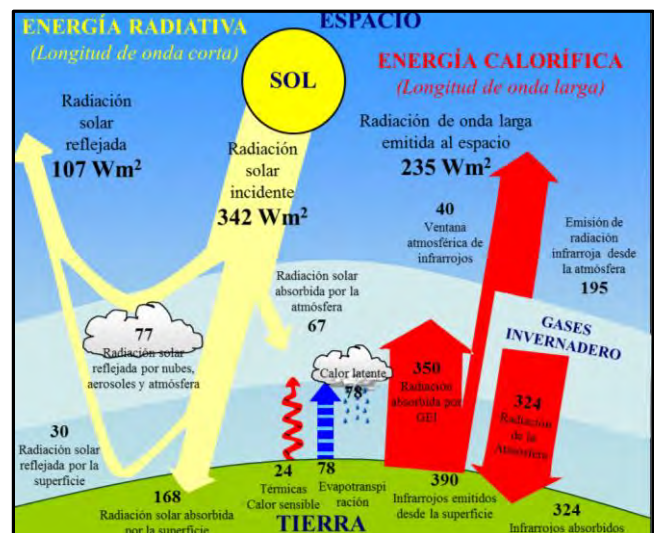


Figura 122. La cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra es igual a la suma de la radiación solar que es reflejado (albedo) y la radiación de onda larga emitida por la Tierra al espacio exterior.

- 28 % es reflejada por las nubes.
- 5 % la absorben tanto nubes como polvo.
- 17 % La absorben los gases atmosféricos como el vapor de agua.
- 0.2 % la absorben las plantas.
- 21 % la absorbe la superficie terrestre.
- 26 % La absorbe el agua.

Del 47 % de la radiación Solar, que es la que llega a la Tierra, se reparte de la siguiente manera: un 40% a evaporación de agua, un 0,2% a la fotosíntesis de plantas y un 59,8% la absorben mares y océanos. La cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre depende de diversos factores, uno de ellos es la distancia de la tierra respecto al sol según la época del año, así como la inclinación del eje terrestre respecto al plano de la órbita solar. Esto ocasiona que los rayos solares lleguen con más potencia a algunas regiones del planeta dependiendo del mes del en el que nos encontremos, en el caso de México, su ubicación hace que tenga mucho potencial para este tipo de energía.

Para saber los datos de radiación que se tienen en el país, podemos recurrir a mapas de isolineas como las del instituto de geografía de la UNAM (Figuras 123) o por medio de cálculos matemáticos por medio de programas (Figura 124).

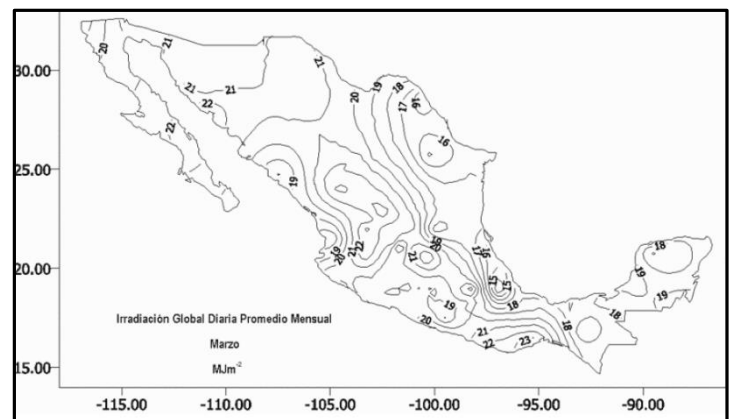


Figura 123. Irradiación global diaria promedio mensual (MJm-2), en Marzo (Equinoccio de primavera)

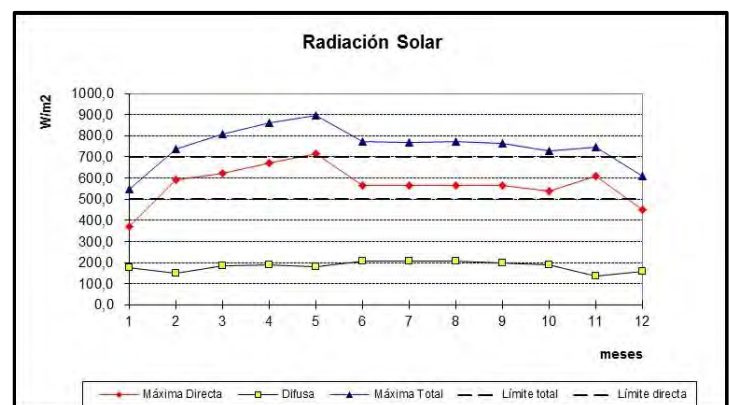


Figura 124. Gráfica anual de radiación solar para el D.F. de la estimación de datos de radiación solar por el Dr. Víctor A. Fuentes Freixanet.

Numerosos estudios nos han dicho el gran potencial que tiene México como fuente generadora de energía renovable, destacando entre ellas notablemente la solar al tener una irradiación global en promedio de 5 a 6 kWh/día/m² dependiendo la región; suponiendo una eficiencia del 15% en sistemas fotovoltaicos (FV), solo se requeriría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere el país hoy en día, así que el potencial en el país es enorme, ocupando el tercer lugar a nivel mundial como fuente de energía solar (Green Street S. A. de C.V., s.f.).

Y a pesar de que en el país existen pocas plantas para producción de electricidad instaladas, los recursos obtenidos podrían fácilmente ser más altos que en España y Alemania que son los líderes con un 67% de la capacidad FV instalada a nivel mundial (Figura 125).

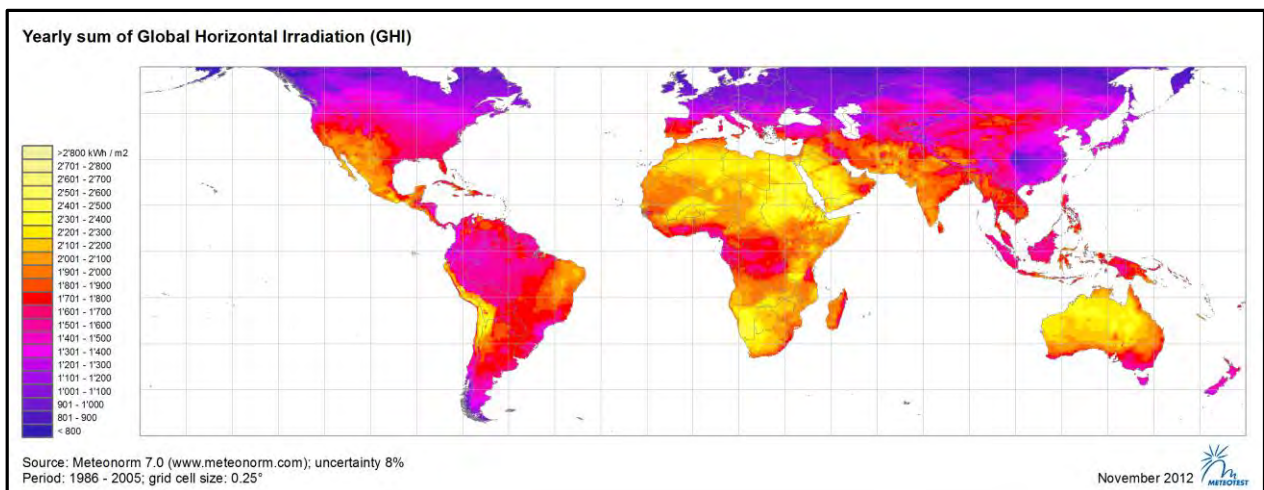


Figura 125. Suma anual de radiación global horizontal

Nubosidad.

Este es uno de los factores que más podría afectar la iluminación natural, es por eso que debemos proceder a su análisis para poder tener un criterio más amplio de su influencia en la entrada de luz hacia los espacios interiores. Podemos definir a las nubes como masas densas de agua o partículas de hielo suspendidas en la atmósfera, las cuales se

forman debido a la condensación del vapor de agua contenido en el aire. Esta condensación se lleva a cabo cuando el aire alcanza la saturación (100% HR), es decir cuando la temperatura desciende hasta el punto de rocío o más abajo; o bien cuando la humedad es incrementada sustancialmente hasta saturar al aire (Fuentes, 2004).



Figura 126. Clasificación de las nubes.

Para clasificar a las nubes se toma en cuenta su forma y altitud, entre ellas se encuentran las estratiformes y las cumuliformes. Las primeras tienen forma de manto o capas que con frecuencia cubre una gran área, sus capas de aire son forzadas a subir gradualmente por arriba de masas de aire estable de mayor densidad y pueden producir grandes cantidades de precipitación en lluvia, granizo o nieve. Las segundas, son masas globulares en forma de burbujas o bolas de algodón, las cuales se forman por el ascenso repentino de masas de aire caliente debido a su menor densidad con respecto al aire que las rodea, concentrándose en áreas relativamente pequeñas de precipitación.

De acuerdo a su altura las nubes se clasifican en cuatro grupos (Figura 126):

- Nubes altas: se presentan a más de 6 km de altitud, entre ellas están los Cirrus, Cirrocumulus y Cirrostratus; se caracterizan por estar formadas por minúsculos cristales de hielo.

- Nubes medias: se localizan entre los 2 y 6 km. de altitud, estas son los Altostratus y Altocumulus.
- Nubes bajas: las nubes bajas se ubican por debajo de los 2 km de altitud, se encuentran los Stratus, Nimbostratus y Estratocumulus.
- Nubes de desarrollo vertical: este tipo de nubes abarca varios niveles, pudiendo ir desde muy bajas hasta muy altas altitudes, se caracterizan porque su desarrollo vertical es mayor que su dimensión horizontal; aquí encontramos los Cumulus y los Cumulonimbus.

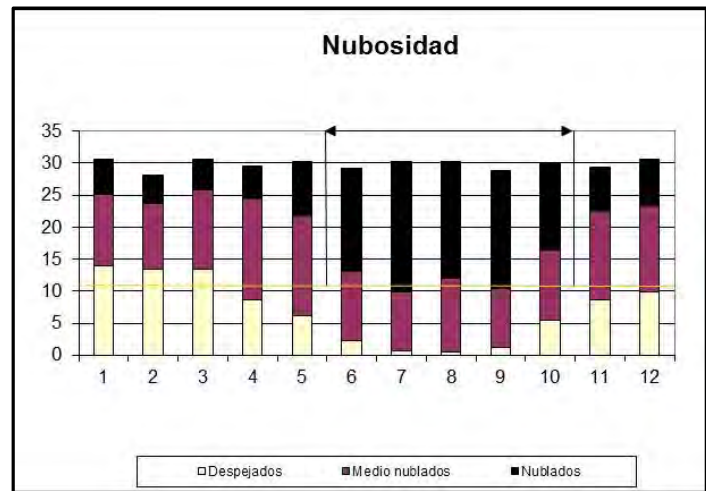


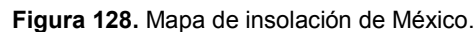
Figura 127. Gráfica anual de nubosidad para el D.F de la estimación de datos de radiación solar por el Dr. Víctor A. Fuentes Freixanet.

De igual forma esos datos se pueden obtener por medio autoridades meteorológicas, normales climatológicas y vaciando en los programas para determinar el comportamiento de la nubosidad en el sitio (Figura 127).

Insolación.

La insolación es la cantidad total de radiación solar tanto directa como reflejada que se recibe en un punto determinado de una superficie de un 1m^2 , para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, esto es, el número de horas que recibe de luz solar un punto en particular (Figura 128). Si los rayos no llegan de forma perpendicular a la superficie, será menor la cantidad de energía que ese cuerpo reciba, es por ello que en cuestiones térmicas a las azoteas o techos de las edificaciones, toman relevancia, ya que si son planas reciben mayor cantidad de energía que los muros.

Al tener la cantidad total de radiación concentrada en un punto, se puede proceder a analizar aquellos sistemas de iluminación natural más aptos para las necesidades que se requieren cubrir, ahí radica la importancia de este factor para la investigación.



En lugares donde el clima cálido es constante, el sombreado se vuelve una de las estrategias principales para el diseño, pero lamentablemente es muy común ver que este tipo de situaciones no se contemplaron desde un inicio, y se decide optar por medios auxiliares para enfriar los interiores que suelen ser costosos de implementar, de mantener y de operar. La solución más factible para esto sería analizar bien el sitio y tener en cuenta tanto las orientaciones favorables y desfavorables como los factores climáticos que nos puedan afectar para poder resolver de manera eficiente el proyecto; ya que como podemos ver en la actualidad existe una tendencia por la transparencia, que ha hecho que las edificaciones lleven grandes ventanales y poca masa térmica, ocasionando que los rayos solares incidentes en la fachada, entren al interior y se conviertan en calor rápidamente, quedándose atrapados al no poder salir, a esto lo conocemos como efecto invernadero.

Cabe señalar que lo anterior no solo desfavorece cuestiones térmicas, sino también cuestiones lumínicas, al no contar con protecciones solares adecuadas se puede llegar a tener reflexiones en los espacios de trabajo que perjudiquen a los usuarios, además de no proveer una adecuada iluminación al tratar de protegerse de los rayos incidentes al interior (Figura 129). Esto último puede ocasionar un mayor consumo de energía al tener que recurrir a la iluminación artificial para contrarrestar el haberse cubierto con cortinas o persianas de los rayos solares que nos incomodan.

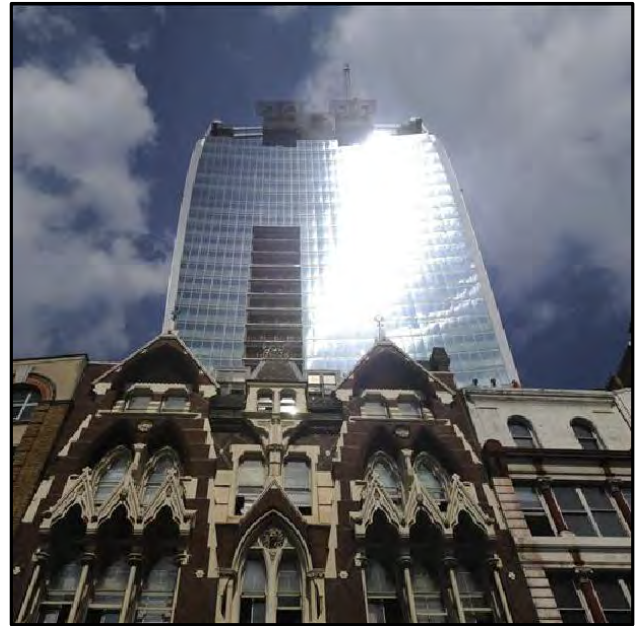


Figura 129. Rascacielos con reflejos solares al exterior.

Al ser la iluminación natural nuestro tema de investigación, procederemos a hablar de los tres componentes esenciales que consta la luz natural procedente de la bóveda celeste, estos son:

- El haz directo procedente del sol.
- La luz natural difundida en la atmósfera (incluidas nubes), que es la componente difusa del cielo.
- La luz procedente de reflexiones en el suelo y objetos en el entorno exterior.

6.3.1 Parámetros de Diseño.

Para tener un correcto diseño de iluminación debemos tener en consideración algunos parámetros que nos ayudarán con nuestro proyecto, a continuación se enunciarán algunos:

- El haz directo procedente del sol.

- La iluminación debe integrarse en el diseño arquitectónico, tanto al interior como al exterior, así como planificarse desde el principio y no agregarse en una fase posterior.
- Tanto la forma como el color y los materiales que se usen para favorecer la iluminación, deben actuar en conjunto con las estrategias y el diseño arquitectónico.
- La iluminación debe crear una sensación y atmósfera adaptadas a las necesidades y expectativas de los usuarios.
- La iluminación debe facilitar y promover la comunicación entre las personas.
- La iluminación debe facilitar la percepción y reconocimiento del entorno de las personas.
- La elección del lugar, orientación, forma y dimensiones del edificio, para aprovechar las ventajas de la aportación de luz natural e impedir sus inconvenientes inherentes a la presencia del sol y de su trayectoria.
- Uno de los factores esenciales para controlar la calidad de iluminación natural al interior de los espacios es la selección de la abertura y su orientación.



Figura 130. La interacción de la iluminación natural en el interior y exterior de la edificación.

- Las superficies exteriores e interiores de las envolventes y espacios interactúan entre ellas, es decir, los rayos que inciden sobre paredes y cristales de los edificios continuos pueden llegar a reflejarse hacia el nuestro y este está influenciado por el color de las otras superficies.
- De igual forma, las superficies del suelo que rodean al edificio, presenta una contribución importante en días de cielos despejados (sin nubes o con

pocas), porque la luz incidente sobre las fachadas es reflejada desde el suelo.

A partir de estos parámetros que debemos tomar en cuenta, se presentan dos condicionantes para la iluminación natural en interiores, y estas son: la interacción entre el edificio y el exterior que es iluminado con un cielo luminoso y, la relación entre el edificio y el espacio interior que es iluminado por luz proveniente del exterior (Figura 130).

6.3.2 Profundidad y Tamaño.

Normalmente al hablar de iluminación natural en un espacio inmediatamente la relacionamos a partir de una abertura lateral, y como sabemos, el reglamento de construcción del Distrito Federal, marca una proporción en la abertura de acuerdo a los m² del espacio. Pero así mismo, también existe una proporción que establece un límite de profundidad y altura para que un espacio este iluminado satisfactoriamente durante el día.

En un edificio típico con una altura de la parte superior de la ventana de 2,5 m y una anchura de sala de 3,75 m, la luz natural puede penetrar aproximadamente 6 m hacia dentro desde la vertical de la ventana. Esto establece una limitación al diseño, produciendo plantas que son de 12 m de profundidad. Esta limitación puede contrarrestarse mediante el uso de ventanas altas relacionado con espacios altos, que permiten que la luz natural alcance mayor profundidad.

Si tenemos un espacio con ventanas incrustadas en la pared que introduzcan iluminación natural al interior, la profundidad de este, L, no debe exceder del valor límite dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{(1 - Rb)}$$

Ecuación 22. Profundidad y tamaño del espacio respecto a la iluminación natural.

Donde W es la anchura del espacio; H_w es la altura de la parte superior de la ventana desde el nivel del suelo y Rb la reflectancia promedio de las superficies en la mitad

posterior del espacio y lejos de la ventana. Si L excede este valor, la mitad posterior de la sala tenderá a parecer sombría y se necesitará el alumbrado eléctrico suplementario.

<i>Reflectancia (R_b)</i>	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
<i>Ancho del espacio (m)</i>	3	10	3	10	3	10
<i>Altura de la parte superior de la ventana (m)</i>						
2.5	4.5	6.7	5.4	8	6.8	10
3	5	7.7	6	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13

Tabla 17. Profundidades límite de salas iluminadas lateralmente (m).

Si un edificio se ilumina mediante ventanas situadas en lados opuestos del edificio, la profundidad máxima que puede ser iluminada con luz natural de modo satisfactorio, es dos veces la profundidad límite del espacio, L , desde la pared de una ventana a la pared de la otra ventana. Se pueden llegar a utilizar elementos de iluminación cenital con el fin de introducir más luz hacia el interior por medio de claraboyas, lucernarios, cúpulas u otros tipos de elementos de iluminación cenital. También se usa para edificios especiales, tales como pabellones deportivos: puede sustituir con ventajas a las ventanas laterales que pueden provocar deslumbramiento cuando se intenta seguir la trayectoria de bolas o pelotas. La iluminación cenital puede también causar deslumbramiento si no está bien diseñada, pero a menudo es un problema de diseño más fácil de resolver que el de reducir el deslumbramiento procedente de ventanas laterales.

6.3.3 Elementos de captación de luz.

Debemos recordar que los rayos solares son la principal fuente de energía que entra en las edificaciones, además de beneficiarnos con luz natural que no tiene costo alguno pero que trae consigo muchas ventajas para la salud humana (como ya se vio en el pasado capítulo). Así que es importante proveer de esta iluminación a cada una de las edificaciones y para esto se utilizan elementos arquitectónicos que capten luz natural y la introduzcan de forma efectiva hacia donde se necesite. Pero de igual forma, hay que



Figura 131. Claraboya. Elemento de captación de luz natural.



Figura 132. Patio de luz. Elemento de captación de luz natural.

saber que elemento nos sirve para cubrir una determinada necesidad y a su vez, que trabaje en conjunto con todo el proyecto; a continuación se presentan algunos elementos:

- **Claraboya:** se define como una abertura horizontal o inclinada construida en la cubierta a base de vidrio o plástico transparente o traslúcido, la cual, permite la penetración cenital de luz natural en el espacio situado bajo él y aumenta el nivel de luz en el interior, protegiendo a veces contra la radiación directa o dirigiéndola hacia espacios inferiores (Figura 131).
- **Porche:** es un espacio intermedio que permite la entrada de luz natural a las partes del edificio directamente conectadas a él, a las que protege de la radiación solar directa y de la lluvia, ya que es un espacio cubierto y unido a un edificio a nivel del suelo pero abierto al entorno exterior.
- **Pared traslúcida:** son construidas con materiales traslúcidos, forma parte de un cierre vertical en un edificio. La superficie separa dos ambientes luminosos, permitiendo la penetración lateral de luz y difundiéndola a través del material traslúcido.
- **Patio de luz:** es un espacio encerrado por las paredes de uno o varios edificios y está



Figura 133. Atrio. Elemento de captación de luz natural.

abierto al exterior por su parte superior y a veces en una dirección. Los patios tienen propiedades luminosas similares al espacio exterior pero a través de ellos se reduce la ventilación y la iluminación natural, la cual, se presenta de forma cenital (Figura 132).

- Atrio: es un espacio cerrado lateralmente por las paredes de un edificio y cubierto con material transparente o translúcido. Sus ventajas principales son que admite luz

natural en espacios profundos que de lo contrario estarían lejos de una ventana, son elementos potenciales de ahorro de energía, pues reducen la pérdida de calor comparado con las paredes de un patio abierto equivalente, las superficies interiores están protegidas de la intemperie, de modo que las paredes y las ventanas que miran al atrio no necesitan ser herméticas (Figura 133).

6.3.4 Acabados. Colores y reflectancias.

Al especificar los acabados de un edificio, deben tenerse en cuenta varios aspectos. El respeto por el medio ambiente y la importancia del ahorro energético determinarán la selección y especificación de los acabados en un proyecto sustentable. En general, los materiales deben evaluarse desde tres puntos de vista principalmente: el efecto de la producción del material sobre el medio ambiente; el efecto del uso del material sobre el consumo de energía del edificio, rendimiento térmico y lumínico; y el efecto del material sobre el entorno interior, calidad del aire, características visuales y acústicas (CSCEA, s.f.).

Cuando la luz natural penetra en una estancia, las superficies interiores, paredes, suelo, techo y mobiliario la reflejan. El color y el acabado de estas superficies afectarán tanto a la cantidad como a la calidad de la luz en ese espacio, y por eso es necesario examinar los efectos de las propiedades reflectantes de las superficies principales en un espacio iluminado (Figura 134). La reflectancia del suelo es generalmente baja, por lo que se

suele omitir los cálculos del alumbrado artificial, aunque caso contrario es la iluminación natural, ya que su efecto es considerable. Los colores claros tienen un mayor grado de reflexión, mientras que la absorción es mayor en los colores oscuros, algo que podemos notar en el uso de acabados claros en el suelo y las superficies verticales, ya que esta se reflejará ayudando a obtener niveles más altos de iluminación, mientras que se reducirán los contrastes provocados en las zonas cercanas a la ventanas.



Figura 134. Se debe tener cuidado con la reflectancia de los materiales y la iluminación para evitar reflejos incómodos.

Como norma general deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. La reflectancia media de las superficies interiores debe ser al menos:

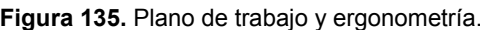
- Techo = 0.7
- Paredes = 0.5
- Suelo = 0.2

2. La reflectancia de mobiliario y equipos debe oscilar preferiblemente entre 0.2 y 0.5.

3. Las superficies brillantes deben evitarse siempre que sea posible, particularmente en o cerca de las superficies de trabajo.

4. Debe prestarse especial consideración a las paredes de las ventanas. Deben ser al menos tan reflectantes como las otras paredes, para reducir el contraste entre las ventanas y su fondo inmediato.

La función principal de la ergonometría es la adaptación de las máquinas y puestos de



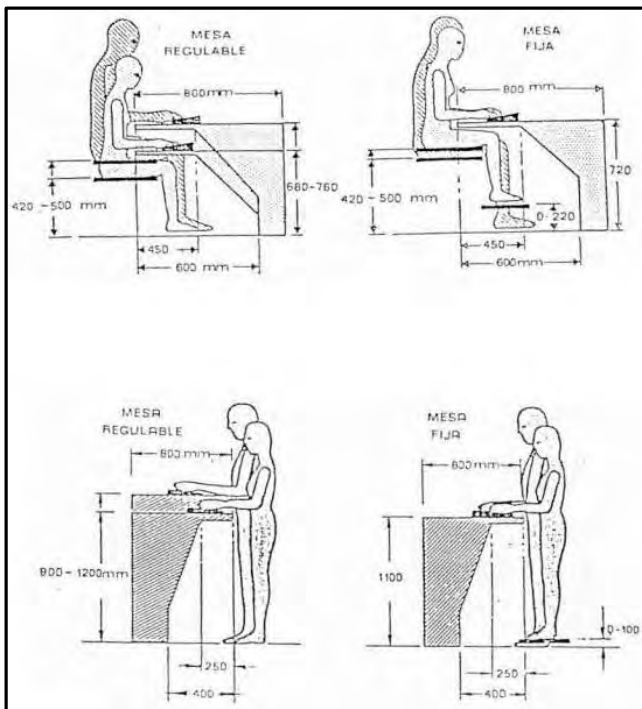


Figura 136. Altura del plano de trabajo y confort postural.

el confort postural del operario en situación de trabajo (Figura 136). También se necesita de una buena disposición de los elementos de trabajo que se manipularán sobre el plano, con el fin de no realizar movimientos forzados que ocasionen dolores de espalda, tanto en el plano vertical como en el horizontal, y determinar las distancias óptimas que consigan un confort postural adecuado.

Como mencionábamos al principio, existen factores ambientales que pueden influir en como los usuarios concibe su puesto de trabajo. El

ambiente donde se realiza el trabajo debe mantener una relación directa con el individuo y conseguir que los factores ambientales estén dentro de los límites del confort con el fin de conseguir un grado de bienestar y satisfacción, algunos factores son: iluminación, ruido y temperatura.

Al diseñar un espacio debemos elegir un buen sistema de iluminación, con el fin de que los usuarios tengan cierto confort y una buena percepción visual precisa. Se debe tener cuidado con el nivel de iluminación del punto de trabajo que depende del tipo de tarea que se realizara, así como el cuidado de los contrastes del entorno y la disposición, tanto de ventanas como de las luminarias (Figura 137 y 138). La no consideración de este factor puede provocar fatiga visual, ya sea por una solicitud excesiva de los músculos ciliares, o bien por efecto de

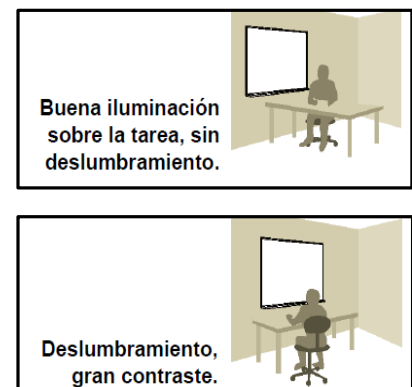


Figura 137. Disposición de un plano de trabajo en relación a la ventana.

contrastes demasiado fuertes sobre la retina. Cabe mencionar que además de tener cuidado en la disposición de luminarias, también debemos tener en cuenta el aspecto térmico, donde también hay que considerar la temperatura del aire, de la humedad, la ocasionada por los objetos y materiales.

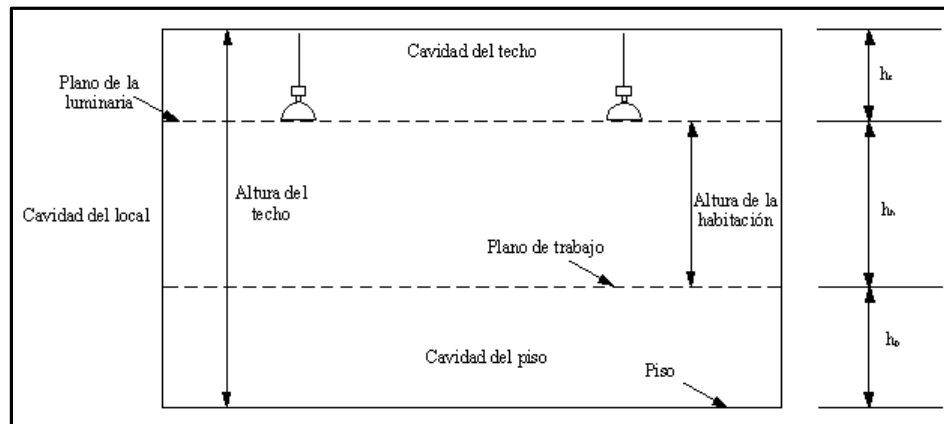


Figura 138. Disposición de luminarias dependiendo la altura del plano de trabajo.

En lo que se refiere al ruido, estos son principalmente ocasionados por el teléfono, las máquinas utilizadas y las conversaciones, sonidos que provocan discomfort y que se sitúan entre los 55 y 65 dB. Por lo que son preferible los espacios reducidos a las grandes salas de trabajo, ya que estas llegan a producir una falta de concentración e intimidad en los usuarios al no poder controlar las acciones que provocan discomfort sonoro.

6.3.6 Factor de Luz de Día.

El Factor de Luz Natural (FLN) o Factor de Luz de Día (FLD) es una expresión que hace referencia a la eficacia que tiene el iluminar un espacio interior de manera horizontal a partir de la luz del cielo. Por lo que el FLD es la relación que hay entre la iluminación interior que recibe un punto en la superficie del plano de trabajo (mencionado en el tema anterior) o el piso y la iluminación exterior simultánea que cae igualmente en una superficie horizontal en un sitio perfectamente despejado, expresando el resultado en porcentaje (%). Cabe mencionar que cada país ha propuesto diferente forma de calcular la iluminación interior de cada uno de los puntos de la rejilla que se forma a partir del plano del trabajo (Fontoynt, 1998).

Este método parte del desarrollo para condiciones de cielo nublado, ya que los valores de FLD se vuelven independientes de la orientación que tengan las superficies acristaladas, de la estación y de la hora; dando así medida de la calidad intrínseca del edificio para captar luz natural, además de que la iluminancia relativa es una constante, lo que no ocurre en condiciones de cielo despejado.

El FLD nos permite medir la luminancia en un punto de referencia en base a la iluminación exterior que se tiene en ese momento, por lo tanto: es la relación entre la iluminancia en un punto interior (E_i) y la iluminancia horizontal en una superficie exterior no obstruida (E_e) medidas en forma simultánea, generando la siguiente ecuación:

$$FLD = (E_i/E_e) * 100$$

Ecuación 23. Ecuación del Factor de Luz de Día.

Obteniéndose:

$$E_i = (FLD/100) * E_e$$

Como la iluminación externa está en constante cambio, la iluminancia interior la acompaña, de manera que la iluminancia cambia su valor en el tiempo t :

$$E_i(t) = (FLD/100) * E_e(t)$$

En esta ecuación el término $E_e(t)$ representa el aporte del cielo como luminaria y el término $FLD/100$ depende del diseño arquitectónico.

El método toma en cuenta tres componentes que integran el factor de luz de día (Figura 139) y que se explican a continuación:

- Componente del Cielo (CC): mide la iluminación al cielo que llega al punto directamente desde el cielo visto a través de la ventana.
- Componente Reflejada del Exterior (CRE): mide la iluminación que llega al punto después de haberse reflejado en superficies exteriores vistas a través de la ventana.

- Componente Reflejada del Interior (CRI): mide la iluminación que llega al punto después de haberse reflejado e interreflejado en superficies interiores del local.

$$FLD = CC + CRE + CRI$$

También hay que tener en cuenta que algunos factores afectan el valor sumado de las componentes. Entre ellos están:

- El cristal: algunas veces hay casos que la ventana no presenta tal elemento, o que las características de éste llegan a ser comunes o especiales (dobles, absorbentes, reflejantes).
- Elementos estructurales de la ventana.
- Mantenimiento o limpieza de los cristales.

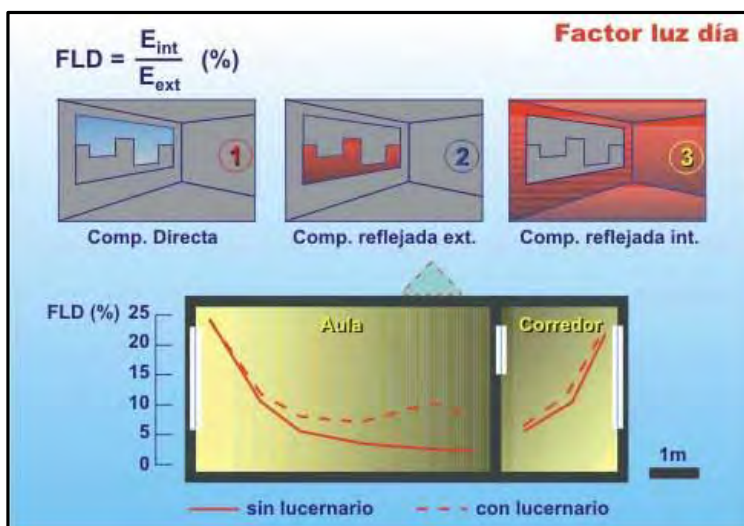


Figura 139. Valores del Factor de Luz de Día (FLD) para un aula.

Como hemos dicho, el Factor de Luz de Día cuantifica todos los efectos del exterior y del interior en la iluminancia de un punto interior considerado, teniendo en cuenta: la posición de un punto considerado; las dimensiones interiores, las reflectancias de las superficies interiores, la localización, tamaño y estructura de la abertura; la localización, tamaño

y reflectancias de las obstrucciones externas; y el albedo (reflectancias del suelo).

Si se analiza ahora el FLD en distintos puntos del ambiente interior (Plano de Trabajo), y para un dado valor de E_e en el tiempo, el mismo cambia de un punto a otro de la misma forma que lo hace la iluminancia del interior, es decir, tiene igual distribución. Esto significa, que una curva de distribución de iluminancia E_i (lux) tendrá una forma similar a la curva de FLD (%).

En general se especifican los siguientes valores críticos del Factor de Luz de Día:

- Valor de FLD promedio
- Valor de FLD mínimo
- Valor de uniformidad FLD_{min}/FLD_{prom}

Que, de acuerdo a lo dicho en el párrafo precedente, están en relación directa con los valores respectivos de iluminancia en el interior (Pattini, 2006).

6.4 La ventana como elemento principal en la edificación para el aprovechamiento de la luz natural.

El principal elemento arquitectónico transmisor de la luz natural es la ventana, y a pesar de que muchos creen que para iluminar un espacio solo se necesita abrir un hueco en el muro, el diseño de una ventana va mucho más allá de solo eso (Figura 140). No solo permite la entrada de luz, también favorece la ventilación, el aislamiento al ruido y las ganancias solares; siendo esta última de gran relevancia al entrar en conflicto con la iluminación natural, ya que de ahí parte el gran problema de que a mayor área de ventana, mayor cantidad de luz natural entrará al espacio y por lo tanto las pérdidas o ganancias de calor podrían mayores, ocasionando problemas térmicos.



Figura 140. La ventana como fuente de iluminación natural por excelencia.

Un buen diseño de ventana significa encontrar un equilibrio entre lo térmico y lo lumínico; se debe permitir la entrada de ganancias solares pero sin producir un calor excesivo, así como una iluminación natural eficiente que no genere deslumbramientos y que a la vez brinde al usuario la oportunidad de estar en contacto visual con su entorno. Son estos motivos por los que el acristalamiento y el diseño de ventanas en muy poco tiempo han logrado tener grandes avances tecnológicos ante el surgimiento de nuevo materiales que consiguen tal objetivo.

Cabe aclarar que un sistema de ventanería es un conjunto de aperturas en una envolvente opaca, es decir, un grupo de elementos constructivos con el objetivo de proveer luz natural necesaria, calidad y ventilar un espacio.

6.4.1 Forma, tamaño y orientación.

En lo que se refiere a la forma de la ventana, esta influye principalmente sobre la distribución de la luz en el espacio iluminado, la calidad de visión y el potencial para la ventilación natural. Por lo general, la iluminación natural puede ser:

- Unilateral: cuando el espacio tiene aberturas en una de sus paredes.
- Bilaterales: cuando tiene aberturas sobre dos de sus paredes, permitiendo la combinación de iluminación cenital con la lateral. Resulta excelente en cuanto a la distribución y uniformidad de la luz.
- Multilateral: se tienen aberturas en tres paredes. Se consigue una iluminación mayormente uniforme en el espacio.

Es común que la iluminación natural de un espacio se dé de forma unilateral, haciendo que la posición se vuelva un factor importante, al decidir la altura y colocación (horizontal o vertical) en que se pondrá ésta. Se tienen dos tipos:

- Ventana horizontal: la iluminación del interior es una banda paralela a la pared de la ventana, que produce poca diferencia en la distribución de la luz a lo largo del día, con poco deslumbramiento. La dimensión horizontal relativamente grande permite una vista panorámica.
- Ventana vertical: la iluminación del interior es una banda perpendicular a la pared de la ventana, produciendo así una distribución luminosa muy variable a lo largo del día. Esta forma de ventana ofrece mejor iluminación en las zonas más alejadas de ella; sin embargo hay un mayor deslumbramiento. Las vistas exteriores son limitadas horizontalmente pero pueden contener una mayor profundidad de campo, combinando el fondo y las vistas a media y gran distancia.

Asimismo, cuanto más alto está una ventana mayor es la profundidad de penetración de luz natural, produciendo una mejor distribución lumínica al interior del espacio, lo mismo sucede en una posición central. Mientras que al colocar una ventana en esquina, los deslumbramientos se verán disminuidos (Figura 141).

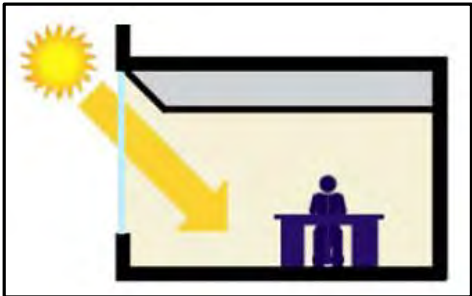


Figura 141. Estrategias para aumentar la iluminación al fondo del local.

Existe una regla básica que limita la profundidad de la luz natural a 1.5 veces la altura de la ventana en relación al suelo, influyendo directamente en la profundidad de los espacios y en la altura de la ventana (Figura 142).



Figura 142. Profundidad de iluminación natural a mayor altura.

Pero en edificios donde las ventanas se limitan a una sola pared, se recomienda aumentar el porcentaje de ventana para lograr una mayor penetración de luz al interior (Tabla 18).

Profundidad de la habitación desde la pared exterior (max.)	Porcentaje de la pared de la ventana visto desde el interior (min.)
<8 m	20%
≥8 m 11 m	25%
>11 m ≤14 m	30%
>14 m	35%

Tabla 18. Superficies mínimas de ventana cuando se limitan a una sola pared.

Cuando se orienta una ventana siempre se debe tener en cuenta la trayectoria del sol, y como éste puede influir en factores lumínicos y térmicos al interior del espacio. Las ventanas orientadas al este y al oeste se consideran equivalentes y los efectos producidos son los mismos, aunque tienen lugar en diferentes momentos del día. A continuación se presentan algunas características según su orientación:

- Ventanas orientadas al sur: los niveles luminosos son elevados, al igual que la ganancia de energía recibida en invierno por la inclinación del sol.
- Ventanas orientadas al este/oeste: proporcionan niveles de iluminación medios y variables a lo largo del día, con elevadas ganancias de energía en verano por las mañanas y tardes según su orientación; ocurriendo lo contrario en invierno.
- Ventanas orientadas al norte: se presentan constantes niveles luminosos a lo largo del día con escasa ganancia térmica.

6.4.2 Acristalamiento

En las edificaciones, los elementos acristalados suelen ser la característica más interesante ante y compleja. Y como al principio decíamos, el acristalamiento y el diseño de las ventanas son las áreas en las que se ha producido los mayores avances técnicos en los últimos años ante el surgimiento de nuevos materiales en los laboratorios de investigación (Figura 143). Hoy en día es posible que estos elementos puedan cumplir los requisitos necesarios de ganancia solar, conservación del calor, y transmisión y dirección de la luz en distintas latitudes y para orientaciones diferentes (Carlos Hernández Pezzi, 2012).



Figura 143. El acristalamiento y el diseño de ventanas han tenido grandes avances tecnológicos en los últimos años.

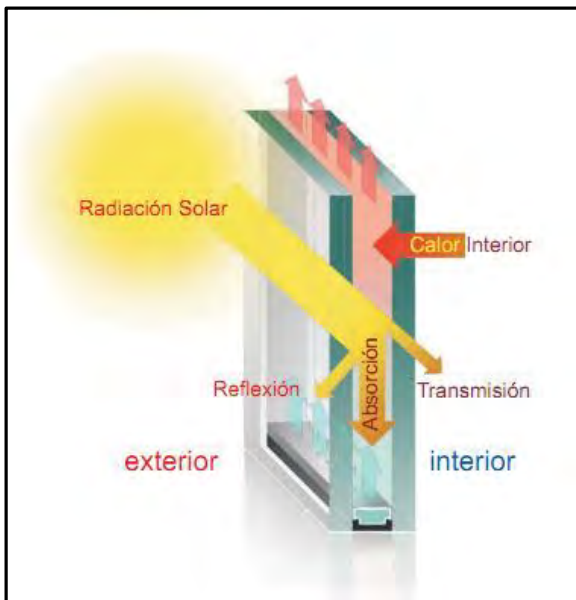


Figura 144. Energía incidente en un cristal.

A pesar de ello, la falta de conocimiento de este tipo de elementos nos puede jugar en contra. Por tal motivo, se debe tener cuidado en la elección de éste y ocuparlo como una estrategia en conjunto con las otras, para alcanzar el equilibrio deseado entre las necesidades de calefacción, refrigeración y luz natural.

Cuando hablamos de las características de los cristales, debemos recordar la incidencia que tiene la radiación solar sobre un vidrio, ya que una parte es reflejada hacia el exterior, otra es transmitida hacia el interior y

la restante es absorbida por la masa del vidrio, teniendo como sub-secuencia la re-irradiada al interior y exterior (Vásquez, 2006) (Figura 144).

Existe una gran cantidad de magnitudes que describen las características de los materiales de acristalamiento en el campo de la luz y de la radiación, pero en lo que compete a la iluminación natural, son solo dos características que hay que tener en cuenta (Figura 145):

- Transmisión luminosa (TL): coeficiente que expresa el porcentaje de luz natural, en su espectro visible, que deja pasar un vidrio, a mayor coeficiente mayor cantidad de luz pasa a través del cristal.
- Factor solar (FS): energía térmica total que pasa a través del acristalamiento a consecuencia de la radiación solar, por unidad de radiación incidente, mientras su valor sea menor tendremos menos ganancias solares en el espacio.

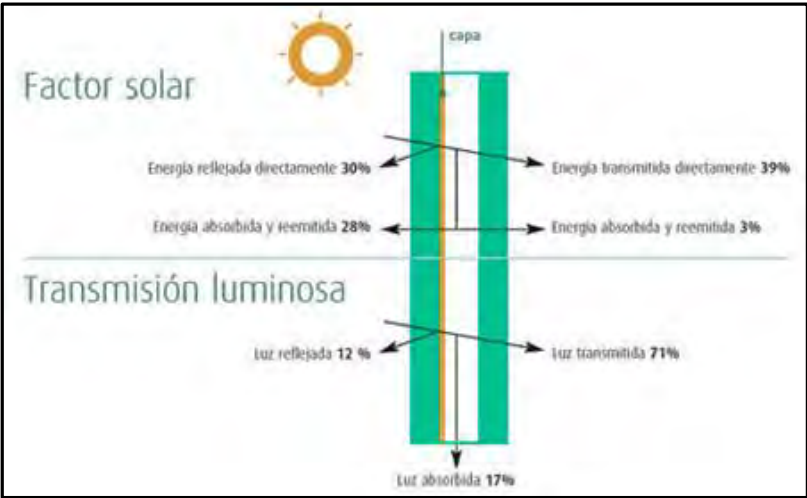


Figura 145. Características de los cristales en relación a la iluminación natural. (Confortglass)

La importancia de estas dos magnitudes radica en que muy a menudo se requiere que un acristalamiento permita la máxima transmisión de luz con una baja transmisión de calor radiante solar; es decir, que el vidrio tenga una alta transmisión solar con el mínimo factor solar posible. En la tabla 19 se presentan algunos valores de diferentes tipos de cristal.

Grupo	Tipo	Espesor Vidrio (mm)	Espesor Cámara Aire (mm)	Coefficiente Transmisión luminosa	Factor solar	Transmitancia (W/m².K)
Simple	Claro	3		0.90	0.89	5.85
		4		0.89	0.85	5.8
		6		0.89	0.85	5.7
Doble	Claro-Claro	4	6	0.79	0.77	3.3
		4	12	0.79	0.77	2.9
		4	18	0.79	0.77	2.7
		6	6	0.88	0.72	3.4
		6	8	0.88	0.72	3.2
		6	12	0.88	0.72	3.0
Doble reflectante	Claro	6	12	0.55	0.30	1.8
	Plata	6	12	0.30	0.32	1.8
	Verde	6	12	0.23	0.21	1.8
	Verde oscuro	6	12	0.20	0.18	1.8
	Bronce	6	12	0.18	0.23	1.8
	Azul	6	12	0.16	0.20	1.8
Doble Bajo emisivo	Claro	6	12	0.14	0.21	1.8
		4	6	0.77	0.65	2.5
		4	12	0.77	0.65	1.8
		4	18	0.77	0.65	1.5
		6	6	0.67	0.52	2.4
		6	8	0.67	0.52	2.3
	Reflectante	6	12	0.67	0.52	1.8
		4	6	0.75	0.54	2.5
		4	12	0.75	0.54	1.6
Triple	Claro	4	18	0.75	0.54	2.4
		6	6			2.4
		6	8			2.3
		6	12			2.2

Tabla 19. Típicos valores para diferentes tipos de cristal (IDAE, 2005).

En la tabla anterior se muestran los valores más típicos de las dos magnitudes que nos competen para diferentes tipos de vidrio. Como se puede observar en la Figura 146, los vidrios transparentes proporcionan una elevada transmisión de luz natural pero también permite que una gran ganancia de calor

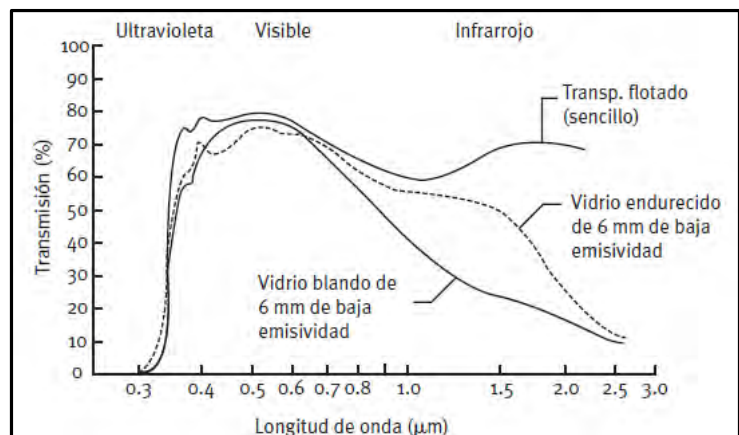


Figura 146. Comportamiento del vidrio transparente a la radiación.

radiante solar pase al interior del espacio. En el caso de los vidrios tintados, estos tienen diferentes características de transmisión de luz y de calor radiante solar con diferentes colores. Esto significa que mientras más grueso es el vidrio menor será la transmisión luminosa y de calor radiante total.

Por último, en el diseño de una ventana debemos tomar en cuenta el tipo de marco que se usara en la estructura de la ventana, ya que estos reducen el área de superficie vidriada, teniendo como consecuencia una posible disminución en la cantidad de luz recibida al interior del recinto. Un marco fijo al contar con una estructura delgada permite el acceso de luz, caso contrario a lo que sucedería con ventanas que se abren para satisfacer las necesidades de ventilación, ya que una mala modulación o la elección de un material incorrecto, podría reducir la cantidad de iluminación al interior (Figura 147).

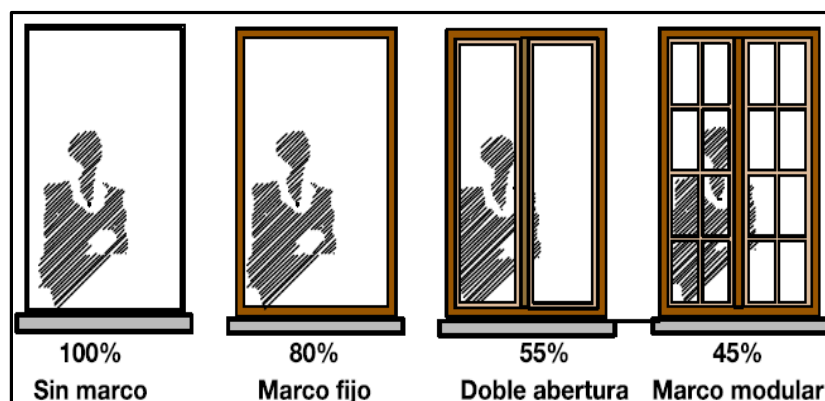


Figura 147. Variaciones del porcentaje de área vidrio con diferentes marcos

6.5 Conclusiones.

La iluminación natural es un recurso que se encuentra en la mayoría de los edificios, y en la actualidad, un tema de gran importancia al contribuir con el ahorro energético, con los consiguientes beneficios ambientales que ello otorgaría, en espacios creados para el bienestar, en el marco de un desarrollo donde se utiliza de manera responsable los recursos naturales que aún hoy disponemos. Pero sin duda, el diseño de sistemas de iluminación natural no solo se limita al escoger el tamaño u orientación de una ventana, es necesario comprender los principios de la iluminación natural, para integrarlos adecuadamente desde el inicio del proceso de diseño.

Como vimos en el capítulo, se necesita de una planificación solar que comience con el conocimiento adecuado del sol y todo lo que esto conlleva, así como entender la relación que tiene la arquitectura con el clima. Ya que de la comprensión de estos, se pueden diseñar estrategias que realmente les sirvan a los usuarios, con la seguridad de que éstas cubrirán todas sus necesidades y los espacios serán confortables.

En cuanto a los espacios y al sistema de ventanería, deben ser consideradas cada una de las características de los elementos a usar para estudiar el comportamiento que tendrán en los espacios, y así tomar la mejor decisión en cuanto a su elección. Debemos recordar que los valores de los materiales, las medidas tanto del espacio como de la ventana, y el mobiliario, son parámetros que influirán en cada uno de los cálculos para el correcto diseño de iluminación natural, radicando ahí la importancia de considerarlos cuando se está diseñando y no posteriormente.

CAPÍTULO 7

SISTEMAS INNOVADORES

DE ILUMINACIÓN NATURAL

- 7.1 Sistemas Innovadores de Iluminación Natural.
 - 7.1.1 Ductos solares o lumiductos.
 - 7.1.2 Estante de luz intermedios.
 - 7.1.3 Sistema de persianas.
 - 7.1.4 Panel prismático.
 - 7.1.5 Panel cortado a laser.
 - 7.1.6 Repisas de luz.
 - 7.1.7 Sistemas holográficos.
 - 7.1.8 Concentradores solares.
- 7.2 Sistema de innovación natural propuesto. Anidólico.
 - 7.1.1 Ventajas y Desventajas.
- 7.3 Conclusiones.

CAPÍTULO 7 - SISTEMAS INNOVADORES DE ILUMINACIÓN NATURAL.

Debido a la conservación del entorno construido, es importante tener en cuenta que los sistemas innovadores de iluminación natural no solo sirven para estudiar su aplicación en los edificios nuevos, sino también en los edificios existentes. En actualidad, gracias a los avances tecnológicos dichas construcciones podrían verse beneficiadas, pero el desconocimiento e ignorancia para poder predecir los resultados de estas tecnologías han logrado que sea difícil su aplicación. A esto, hay que sumarle el desaliento de muchas personas cuando se habla del proceso de modelado en computadora, si es bien sabido que existen programas que ayudan a los cálculos de iluminación natural con este tipo de sistemas, el obtenerlos se vuelve complicado y más aún el poder utilizarlos de la forma correcta para sacarles todo su potencial.

El objetivo de la investigación, por lo tanto, es determinar el comportamiento de sistemas de iluminación natural de alta eficiencia en edificios existentes mediante la experimentación, con el fin de mejorar las condiciones lumínicas de los usuarios. Es por ello que en este capítulo se abordara dicho tema para poder describir las características de algunos y así tomar la decisión adecuada sobre cual elegir para nuestro caso de estudio. EGIPTO, KARNAK

7.1 Sistemas innovadores de iluminación natural.

Se le da el nombre de sistemas innovadores de iluminación a una serie de dispositivos concebidos para mejorar la eficiencia y las condiciones lumínicas al interior de un espacio. La palabra *Innovador* hace referencia a aquello distinto a lo convencional y que aún no se ha generalizado su uso para instalaciones comunes (Assaf, 2006).

Si bien, los sistemas innovadores comprenden una diversidad de dispositivos que van desde luminarias, equipos auxiliares y sistemas de control, hasta ventanas inteligentes, luminoductos y colectores de luz solar, que se dividen en sistemas innovadores de alumbrado natural y los sistemas innovadores de alumbrado artificial. En nuestra investigación sólo hablaremos de los sistemas innovadores de iluminación natural.

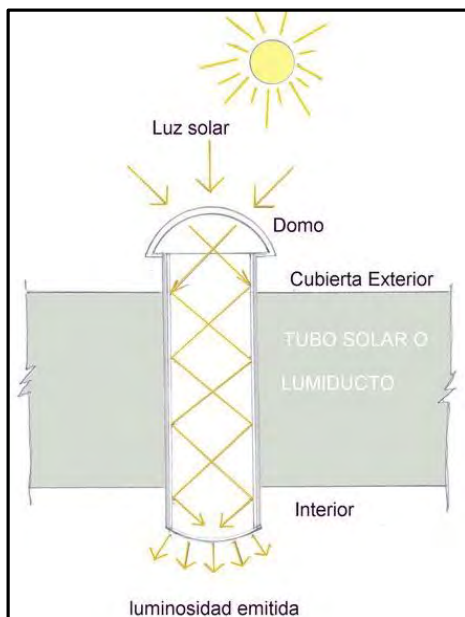


Figura 148. Funcionamiento de ductos solares.



Figura 149. Prototipo de ducto solar.

7.1.1 Ductos solares o Lumiductos.

Es un sistema de iluminación natural que capta los componentes directos de la radiación solar mediante pequeños domos con ductos que sitúan en las cubiertas de los edificios y que van transportando dicha energía varios metros hacia el interior. Mediante el uso de reflexiones sucesivas en las paredes internas hechas de material especular de los ductos, es posible transmitir luz hacia el interior de los espacios en edificios que normalmente requieren iluminación artificial durante el periodo diurno.

La eficiencia depende del área y geometría del ducto, si bien, los materiales reflectantes convierten parte de la radiación visible en calor, la alta eficacia lumínica de la radiación solar permite obtener flujos luminosos elevados a la salida de los ductos. Y junto su capacidad de direccionamiento hacia la fuente de luz, logra alcanzar un índice de 50% de eficiencia.

Este aporte no sólo favorece el crecimiento de plantas arquitectónicas que tienen déficit en iluminación natural, sino que también contribuye al bienestar tanto psicológico como físico de los usuarios, con los que se debe tener cuidado al momento de diseñar los ductos para que no provoquen deslumbramientos indeseables dentro de su campo visual.

7.1.2 Estante de luz intermedios.

El uso de estantes de luz nos permite dirigir e incrementar la componente reflejada hacia arriba y redireccionarla, con el fin de que los reflejos del plafón la pueden difundir en los espacios de mayor profundidad. La iluminación lateral que entra a partir de una ventana, se puede mejorar con la colocación de una bandeja o estante horizontal de material reflectante; pero la ubicación de estos estantes de luz como su eficacia, varía dependiendo la orientación en la que se encuentren y las condiciones de cielo actual (Pattini, 2006). Los estantes de luz intermedios se utilizan a partir de la división de la parte superior e inferior de la ventana de manera vertical, logrando la reflexión de luz a través de ambas partes y actuando a la vez como un alero de sombra para la parte de abajo en los meses de verano (Figura 150).

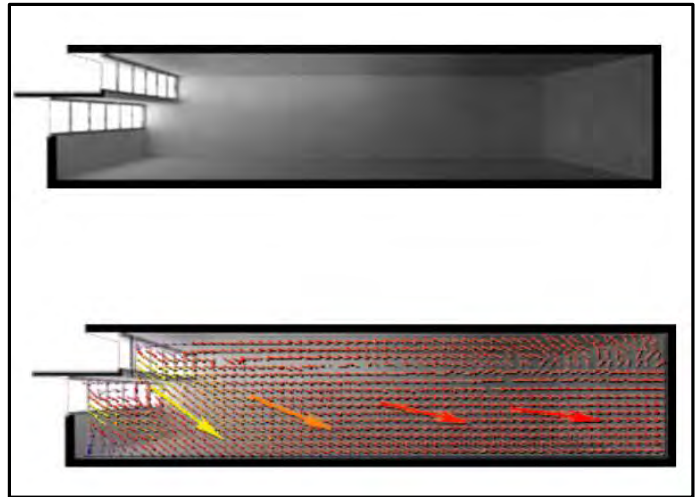


Figura 150. Funcionamiento de estantes de luz a partir del programa Autodesk-Ecotect.

La principal ventaja de estos sistemas es la reducción del deslumbramiento desde el cielo a los lugares próximos a la ventana, además de dejar entrar más luz de manera horizontal haciendo sombras largas y disminuyendo los contrastes dentro del espacio. Son recomendados para espacios con luz solar directa significativa, para edificaciones en el hemisferio norte, se recomienda su instalación en las ventanas ubicadas en la fachada sur, dónde es recomendable que la profundidad del estante interno sea aproximadamente igual a la altura del triforio de la ventana por encima del estante. La altura del ventanal acristalado y la longitud del estante dependen de las características de latitud y del clima, alguna inclinación en el sistema cambiara la profundidad de luz reflejada y el área sombreada.

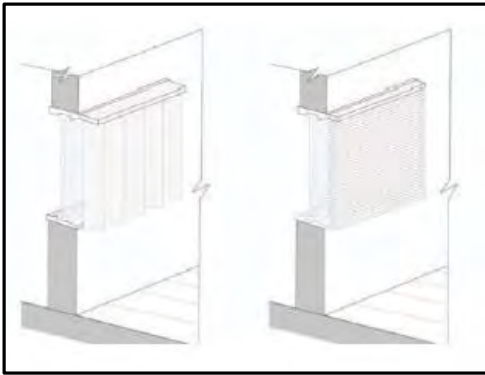


Figura 151. Sistema de persianas verticales y horizontales.



Figura 152. El ángulo de inclinación de las persianas influye en la transmisión u obstrucción de la iluminación al interior.

7.1.3 Sistema de persianas.

Las persianas son uno de los sistemas clásicos más utilizados, se pueden aplicar para el sombreado solar, como protección contra el deslumbramiento y para redireccionar los rayos de luz solar al interior del recinto.

Éstas se conforman de múltiples tablillas horizontales, verticales o con inclinación; existiendo diversos tipos de persianas, que van desde las altamente sofisticadas con control de seguimiento de luz solar hasta las convencionales que se construyen en obra y permanecen fijas (Figura 151). Se pueden ubicar al exterior o en el interior de cualquier ventana o tragaluz, usándose con normalidad entre dos cristales.

Una de las desventajas que presentan, es que bajo condiciones de cielo despejado y de un sol resplandeciente, las persianas pueden llegar a producir molestas líneas con brillantez excesiva a lo largo de las tablillas y causar problemas de deslumbramiento al interior o exterior del espacio, y de igual forma, al contar con una superficie especular se puede llegar a reflejar tanto el sol

como el cielo hacia el campo de visión de los usuarios. Estos problemas pueden llegar a reducirse eligiendo una superficie difusa en la tablilla.

Las persianas pueden reflejar y/o transmitir radiación solar difusa y directa hacia el interior de una habitación pero también llegan a absorber u obstruir dicha energía, todo dependerá de la posición del sol, del ángulo de inclinación de la tablilla y las características reflejantes del material con el cual este construido (Figura 152). Cuando

el elemento se encuentra inclinado hacia arriba, la transmisión de luz proviene directamente del sol y del cielo; en el caso contrario, al presentar una inclinación hacia abajo la luz transmitida proviene de la reflexión de la superficie del piso.

Existen dos sistemas de persianas, los sistemas fijos que generalmente se diseñan en busca de protección solar y los sistemas operables que gracias a su gran flexibilidad, pueden ser utilizados para controlar ganancias térmicas, proteger contra el deslumbramiento y redireccionar los rayos de luz, ya sea para iluminar u obstruirlos. En estos últimos, debemos mencionar los sistemas que usan el control de seguimiento de luz solar, los cuales funcionan ajustando las tablillas de la persiana a la actual posición del sol no se cerrándolas por completo, lo que permite la entrada de luz natural difusa, gracias esto se pueden reducir los costos energéticos y garantizar una máxima aportación de luz natural en los espacios minimizando los molestos reflejos a los ocupantes.

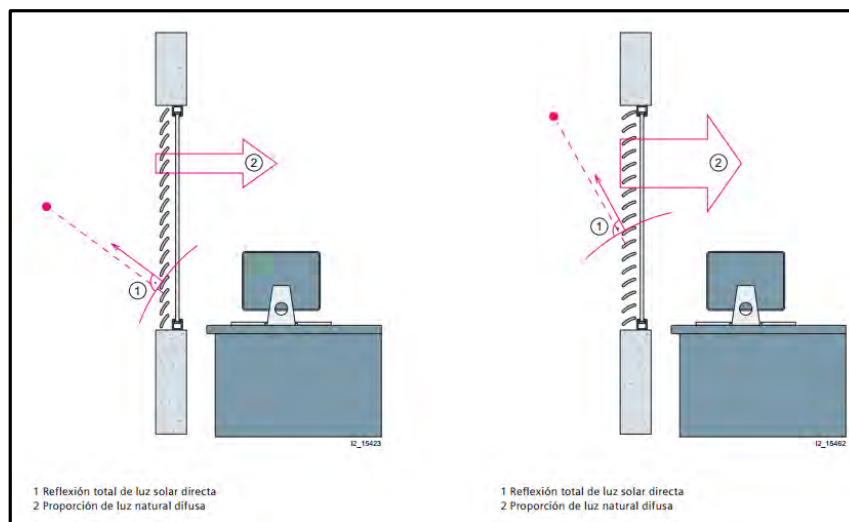


Figura 153. Sistemas de persianas operables con control de seguimiento de luz solar.

7.1.4 Panel prismático.

El sistema está hecho a partir de placas de acrílico planas y transparentes, donde la textura en unas de sus caras juega un papel muy importante al redirigir la luz a través de unos pequeños dientes de sierra, los cuales cuentan con dos ángulos de refracción. Existen dos procesos diferentes de fabricación:

- Moldeo por inyección: se producen a partir de un polímero acrílico en cuatro configuraciones diferentes, esto se hace para que el panel cuente con cuatro ángulos de refracción diferentes.
- Grabado especializado: este proceso de grabado produce paneles con prismas que se espacian menos de un milímetro de distancia. El resultado es un acrílico ligero pero que conserva sus propiedades ópticas.

Los paneles prismáticos pueden ser fijos o móviles, generalmente se suele poner entre un doble acristalamiento para evitar su mantenimiento. Pero se debe tener cuidado que su ángulo de refracción de luz no rebase los 15° aproximadamente, esto se debe a que dicha inclinación permite una mejor penetración al interior de los espacios, sin permitir que rayos de la luz solar directa puedan generar deslumbramiento. Pero dependerá de la ubicación geográfica del edificio el diseño del perfil prismático que se deba usar.

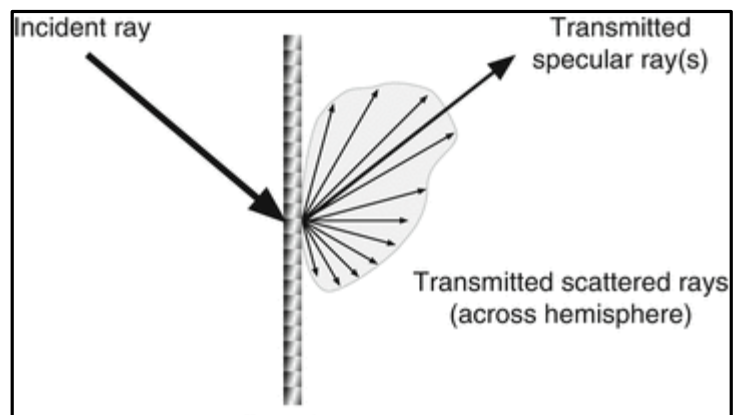


Figura 154. Funcionamiento de panel prismático.

7.1.5 Panel cortado a laser.

Es un panel delgado que se corta con láser para dividirlo en piezas rectangulares, este sistema sirve para redireccionar los rayos de luz hacia el espacio interior de forma fija o

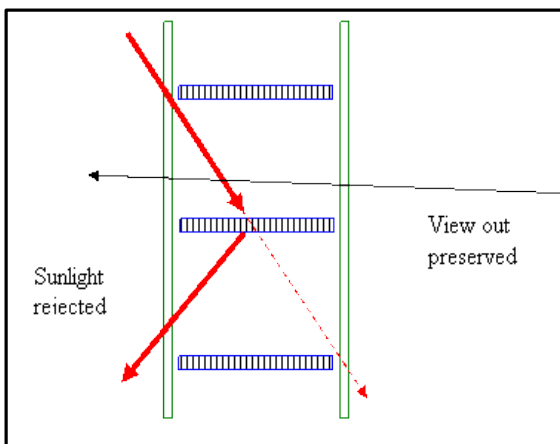


Figura 155. Funcionamiento de paneles cortados a láser.



Figura 157. Vista de un panel cortado a láser.



Figura 156. Acercamiento de cortes con láser que reflejan la luz del sol.

móvil, además se puede utilizar como: un sistema fijo de sombreado o a su vez como director de luz en forma de persiana veneciana.

La superficie de cada corte láser se vuelve un pequeño espejo interno que desvía la luz que atraviesa el panel, guardando la misma relación entre la distancia de sus cortes para desviar casi todos los rayos incidentes sobre él (Figura 155), dirigiéndolos en un ángulo superior a 45° sobre la horizontal y en un ángulo por debajo de los 20° . Dado que todas las desviaciones son en la misma dirección, al igual que los cortes, la desviación es altamente eficiente.

Como se mencionó los paneles pueden ser utilizados de forma fija o móvil dentro de un sistema de ventanería, pero a pesar de que estos tienen una alta transparencia con distorsión limitada de la vista hacia afuera, su uso debe enfocarse solo para cuestiones lumínicas, debido a que al redireccionar la luz proveniente del sol hacia abajo puede ocasionar deslumbramiento en usuarios que se encuentren cerca del sistema. Porque lo se aconseja que se instale por arriba del nivel del ojo en las ventanas para evitar tal problema.

Su mantenimiento es propio de un sistema con vidrios convencionales pero los beneficios del panel cortado a láser es mucho mayor, incrementando desde un 10% a un 30% (dependiendo las condiciones del exterior) la luz en el interior del inmueble al utilizarlo en la parte superior de la ventana (Figura 156 y 157).

7.1.6 Repisas de luz.

El principio de estos dispositivos es reflejar la luz incidente hacia el plafón usándolo para distribuirla de manera uniforme en el mayor espacio posible. Se usan conductores horizontales de luz para introducirla al interior, donde los valores de reflectancia dependerán de los materiales usados al interior, así como su latitud geográfica. En condiciones normales la distribución de luz del día en un espacio es muy desigual, los niveles más altos de iluminación se encuentran en las zonas cercanas a la ventana, mientras que en las zonas alejadas los más bajos; siendo un factor muy importante el tipo de cielo que se encuentre en ese momento, ya que al tener un cielo despejado la eficacia de las repisas será mayor al tener una mejor incidencia lumínica (Figura 158).

Es normal que la colocación de los elementos sea en posición casi horizontal a partir del tercio superior de la ventana, causando la presencia de sombras, por lo que también podría usarse a la vez como sistema de sombreado. La repisa es cubierta con una película especular de alta reflectancia que busca mejorar el reflejo de los rayos que inciden en ellas, y así, lograr mayor reflexión lumínica a través del plafón.

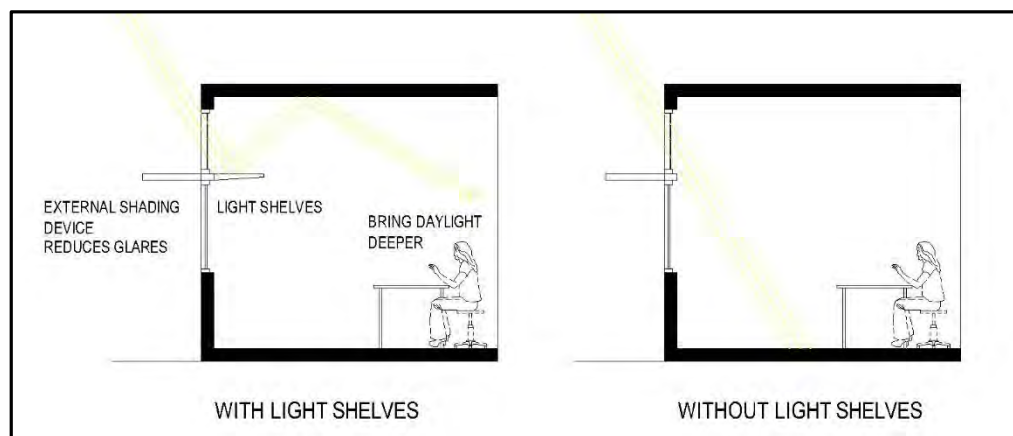


Figura 158. Funcionamiento de repisas de luz o light shelves.

7.1.7 Sistemas holográficos.

Existen varios de ellos, pero todos se basan en la difracción creada por estructuras microscópicas; y se pueden utilizar tanto en soporte móvil como fijo.

Los elementos ópticos holográficos se pueden usar a partir de la entrada de luz cenital o vertical a los espacios, el sistema redirige la luz difusa proveniente del cielo para transmitirla al interior de la edificación. Teniendo como desventaja el efecto arcoíris, provocado por la dispersión de los colores cuando se expone a la luz solar directa, por lo que su uso solo se recomienda en lugares que no cuentan con radiación solar directa.

Este sistema se conoce como vidrio holográfico y se produce al someter una película de un elemento holográfico a un tratamiento con rayos laser para variar el índice de refracción. Es muy útil en edificaciones que tienen obstruida la vista al cielo, en entornos urbanos o en climas donde predomine el cielo nublado.

7.1.8 Concentradores Solares.

Un concentrador solar es aquel capaz de concentrar la energía solar en un área específica que aumenta la intensidad energética, se puede decir que es similar a lo que sucede cuando enfocamos una lupa a algún punto específico. La forma de trabajar de los concentradores es a partir de un arreglo de espejos alineados hacia un objetivo con el

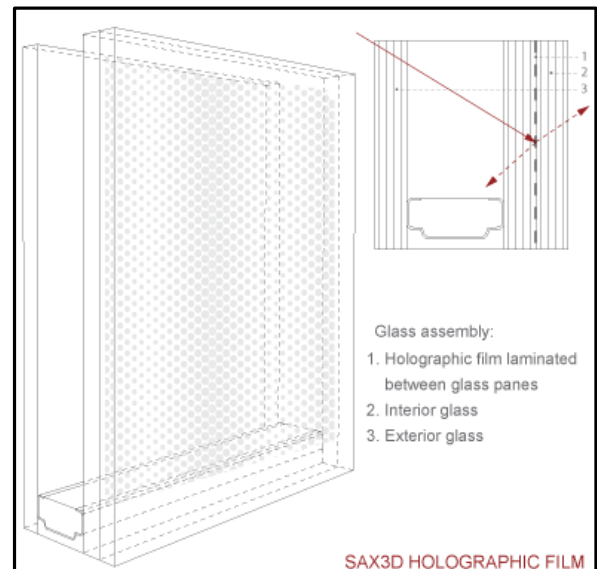


Figura 159. Descripción del sistema holográfico.



Figura 160. Vidrio holográfico.

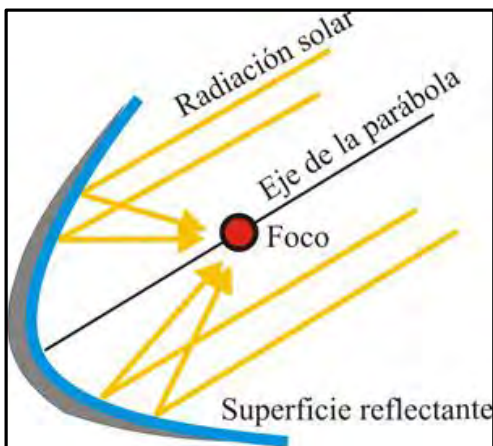


Figura 161. Funcionamiento Concentrador Solar.



Figura 162. Concentrador Solar parabólico.

captar la energía recibida para su aprovechamiento. En otras palabras, la esencia de la tecnología de concentración radica fundamentalmente en la reducción del dispositivo receptor de la radiación solar incidente debido a la posibilidad de concentrar la radiación en un punto específico (Díaz Baez, 2009).

Los sistemas de concentración solar usan superficies reflectoras con materiales que tengan propiedades altamente reflectivas en la superficie frontal o trasera de un vidrio o plástico delgado. Las membranas estiradas son membranas reflectivas delgadas que se usan a través del aro, mientras que otra es estirada atrás de está creando un vacío parcial. Esto obliga a que la membrana tome una forma esférica, la cual es la forma ideal del concentrador.

En estos sistemas la energía del sol se concentra por reflectores en forma de canal parabólicamente curvados a una tubería receptora que se ubica a lo largo del interior de la superficie curvada.

7.2 Sistema de innovación natural propuesto. Anidólico.

En su escrito *"Innovative daylighting systems: An experimental evaluation"* Aizlewood observó que a pesar que el propósito de la mayoría de los sistemas de iluminación natural de redireccionamiento es aumentar la iluminación al interior de un espacio, éstos causan pérdidas de transmisión de luz; ya sea por tratar de eliminar el deslumbramiento o por su forma de distribuir la iluminación dentro del lugar. Cómo podremos ver más adelante, los sistemas de iluminación natural anidólicos tienen la capacidad distintiva de ser uno de los

únicos sistemas de redireccionamiento que evita tales desventajas para aumentar de manera constante los niveles de iluminación natural más profundos en una habitación iluminada de lado.

Los sistemas de iluminación natural anidólicos se encuentran hechos por espejos parabólicos cuyo diseño permite encontrar en los principios de la óptica sin imágenes, siendo desarrollados por Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB) de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL), en Suiza (Andersen, s.f.).

El dispositivo anidólico original es el colector cenital, aunque actualmente ya se cuentan con diferentes tipos de sistemas con su mismo nombre y principio:

- **Persiana Solar de anidólico:** La características de este sistema lumínico es el uso de elementos reflectantes en tres dimensiones, como todos, aún se encuentra en fase de estudio pero ya se han desarrollado algunos prototipos implementados en edificios para ser evaluados. Se usa para controlar la luz de día y las ganancias térmicas que recibe la fachada por radiaciones solares directas, también puede aplicarse como persiana fija o ser colocada en la parte superior de una ventana convencional, aunque al ser un elemento tridimensional, la vista a través de ellos es borrosa. Además de los parámetros comunes de la óptica del anidólico, el grado de inclinación al sistema depende de la latitud donde se va a instalar, lo que puede aumentar los niveles de iluminación.

- **Techo Anidólico (vertical):** Está compuesto por un espejo parabólico externo que recoge la luz desde el cenit del cielo y dos internos de forma parabólica, los cuales redistribuyen cada rayo de luz que entra en el sistema por todo el camino a través de un número mínimo de rebotes, asegurándose de que las pérdidas por reflexión se reduzcan de manera considerable y que ningún rayo se desperdicie (Figura 163). Dicha geometría

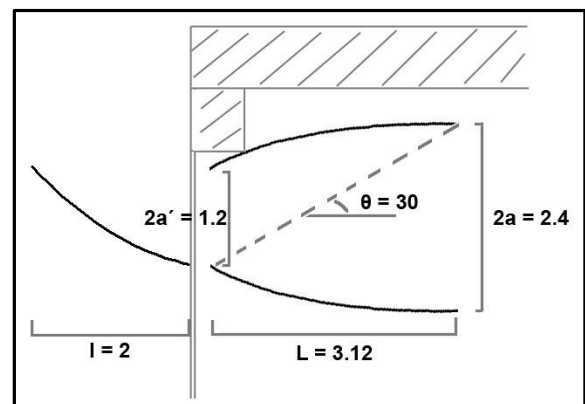


Figura 163. Diagrama del colector anidólico cenital.

altamente eficiente ayuda al sistema anidólico a superar dispositivos de redireccionamiento similares.

Estos elementos ópticos se construyen a partir de un material altamente reflectante que garantiza un alto grado de reflectancia. Un sistema de techo anidólico está diseñado para ser ubicado en una fachada vertical por encima del nivel de visión de la ventana, y se

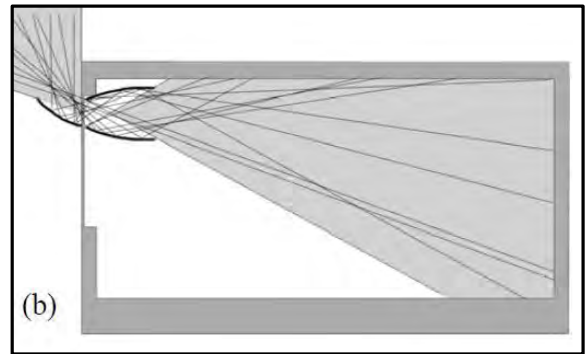


Figura 164. Esquema del sistema anidólico con el seguimiento de cada uno de los rayos desde todos sus ángulos.

puede aplicar tanto con ducto solar como sin este (Figura 164) (Figura 165). Los sistemas de techo anidólico utilizan las propiedades ópticas de los concentradores parabólicos y se encargan de recoger la luz difusa del cielo predominantemente nublado, teniendo mayor eficacia en fachadas verticales de edificios que tienen acceso limitado a luz directa del sol (Figura 164). Es por esto último que es altamente recomendable para los lugares urbanos, ya que las obstrucciones alrededor de una construcción incrementan la importancia de recoger la luz difusa del vacío del cielo.

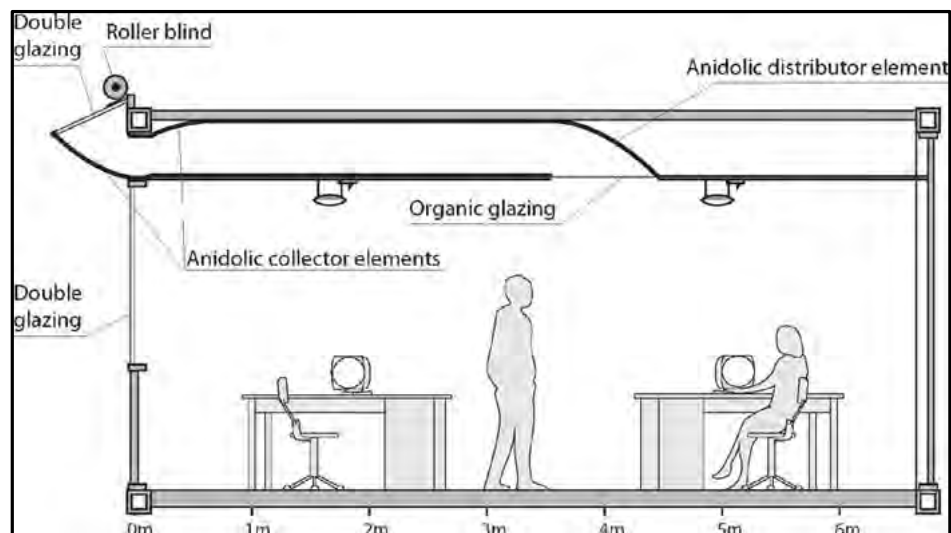


Figura 165. Oficina equipada con un techo anidólico (vertical) que se encuentra compuesto por un conducto de luz y un elemento distribuidor.

• **Techo Anidólico (horizontal) o abertura anidólica cenital:** Compuesta por un elemento óptico para concentrar los rayos de luz y un elemento emisor. Los interiores se encuentran conformados por espejos reflectores que ayudan al redireccionamiento de la luz al interior del espacio. Este tipo de dispositivo está diseñado para ser ubicado en techos con una dirección este-oeste en el eje horizontal, dejando que su apertura de entrada se encuentre levemente inclinada hacia el norte (según el hemisferio en que se encuentre) con el fin de impedir el ingreso de los rayos solares directos. Aunque la gran desventaja de este sistema a los anteriores, es que debe ser integrado en el proceso de diseño del edificio.

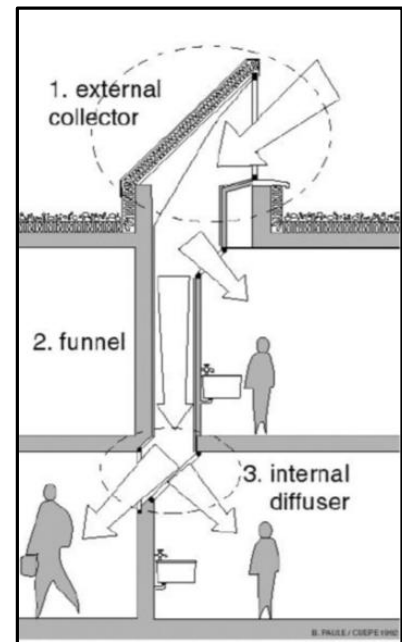


Figura 166. Abertura anidólica cenital.

7.2.1 Ventajas y Desventajas.

Como anteriormente se mencionaba, estos sistemas son denominados como innovadores porque la mayoría de ellos se refieren a nuevas tecnologías que aún no se encuentran masivamente en el mercado, son productos que aún se encuentran en investigación. El sistema anidólico se encuentran actualmente siendo estudiado por su aplicación para aumentar los niveles de iluminación al interior de los espacios a partir de su característica como concentrador solar, siendo usados en particular cuando no es un requisito la vista al exterior. Estos nuevos sistemas se han instalado tanto en módulos como en modelos físicos tridimensionales experimentales para su monitoreo lumínico, con el fin de poderlos validar y ser aceptados por los usuarios en sus espacios de trabajo (Pattini, s.f.).

Los dispositivos ópticos se diseñan para:

- Proveer la mayor cantidad posible de iluminación natural al interior de los espacios.
- Concentrar y redirigir los rayos solares intencionalmente para las distintas posiciones de luz solar directa, sin partes móviles.



Figura 167. Módulo de prueba de iluminación natural equipado con un colector anidólico vertical.

- Permitir a través de los sistemas la reducción de costos energéticos.

Su capacidad de recoger y redistribuir la luz difusa sin pérdidas de energía es una de las mayores ventajas del sistema anidólico, algo poco común en este tipo de tecnologías, ya que en la mayoría de ellas la redirección depende del ángulo que tenga la incidencia de la luz directa del sol, ya que están diseñados para

desviar los rayos solares y hacerlos rebotar en el techo para dar mayor iluminación al interior, por lo que la luz natural difusa no podría ser una opción viable para estos sistemas debido a que no es lo suficientemente intensa como lo son los ángulos incidentes.

Por otro lado, los sistemas anidólicos tienen la posibilidad de usar luz difusa al tener un mayor rango de ángulos de incidencia para poder enfocar cada uno de los rayos, y así, redistribuirlo hasta lo más profundo del espacio. De hecho, el colector exterior del sistema proporciona detalles angulares con materiales altamente reflectantes al igual que la parte interior, logrando que el anidólico logre hacer lo que la mayoría de los sistemas de redireccionamiento no pueden: proporcionar un aumento neto en los niveles de iluminación en las partes más profundas de los espacios, a pesar de las pérdidas por reflexión que se lleguen a tener.

Esta correlación entre la forma del sistema anidólico y la captación de luz difusa se vuelve elemental para el caso de edificios existentes, en especial, para fachadas que no tienen una ganancia solar directa y que cuentan con obstrucciones hacia luz directa, o bien, presentan un cielo nublado. La importancia de esto radica en el máximo rendimiento que se le puede dar a los anidólicos bajo cielos brillantes o nublados mediante la captación de luz difusa, ya que mientras más haya, mayores serán los niveles de iluminación.

De igual manera, al presentarse un caso en donde la luz solar sea directa en el sistema anidólico se debe pensar en alguna forma de sombreado, debido al potencial de deslumbramiento que pudiera existir.



Figura 168. Vista frontal del techo anidólico, instalado en un módulo de prueba móvil.

Tal vez la única desventaja en este sistema es la dificultad para integrarlo a un edificio existente, a pesar de ser uno de sus mayores objetivos, debido a que en un edificio nuevo o remodelado se puede incorporar de manera más fácil a la fachada e integrarlo en esta; pero un edificio ya existente el espacio que se ofrece es limitado y se debe buscar la mejor solución para acoplarlo al vano y estructura existente.

Y a pesar de que en zonas con condiciones normales de precipitación es suficiente con la lluvia que retira los residuos acumulados en la entrada de luz del sistema, es necesario tener cuidado con el mantenimiento, ya que se debe evitar las obstrucciones que prohíban el paso de los rayos del sol, así como asegurarse que el anidólico este herméticamente cerrado.

7.3 Conclusiones

Como se ha dicho a lo largo de este capítulo, los sistemas innovadores de iluminación natural pueden realizar grandes aportes para reducir los costos de consumo de energía eléctrica en construcciones tanto existentes como nuevas; y no son solo una aplicación limitada a edificios residenciales, ya que pueden resolver problemas asociados a los altos costos de energía en la producción y combatir los bajos niveles de iluminación que llegan a tener las industrias.

Los anidólicos se muestran como un dispositivo eficaz para la introducción de luz natural en los edificios, siendo solo un elemento que se complementa con la iluminación artificial; siendo sus beneficios: el ahorro de energía, un mayor confort lumínico, visual, psicológico y fisiológico. Y a pesar de los posibles problemas con la integración, los sistemas de iluminación natural anidólicos tienen un gran potencial para mejorar la iluminación natural en construcciones existentes, y por lo tanto deben ser considerados como una opción. Además son ideales para zonas urbanas, ya que su objetivo principal no es precisamente utilizar la iluminancia proveniente de la bóveda celeste, sino, la luz difusa que se forma a través de las reflexiones.

Así que en los próximos capítulos se procederá a hacer el análisis del caso de estudio aplicando los sistemas anidólicos en un espacio de educación básica, esto con el fin de determinar un aumento en los niveles de iluminación natural al interior usando diferentes cristales para su comparación, siendo esto medido a través de simulaciones.

CAPÍTULO 8

CASO DE ESTUDIO

- 7.1 Sistemas Innovadores de Iluminación Natural.
 - 7.1.1 Ductos solares o lumiductos.
 - 7.1.2 Estante de luz intermedios.
 - 7.1.3 Sistema de persianas.
 - 7.1.4 Panel prismático.
 - 7.1.5 Panel cortado a laser.
 - 7.1.6 Repisas de luz.
 - 7.1.7 Sistemas holográficos.
 - 7.1.8 Concentradores solares.
- 7.2 Sistema de innovación natural propuesto. Anidólico.
 - 7.1.1 Ventajas y Desventajas.
- 7.3 Conclusiones.

CAPÍTULO 8 - CASO ESTUDIO

8.1 Condiciones lumínicas en la ciudad de México

8.1.1 Nubosidad

8.1.2 Radiación

8.1.3 Insolación

8.1.4 Niveles de iluminancia

8.1.5 Niveles de luminancia

8.2 Descripción general del caso estudio

8.2.1 Metodología general

8.2.2 Descripción arquitectónica

8.2.3 Obstrucciones del edificio

8.2.4 Materiales y estructura

8.3 Metodología específica. Análisis cuantitativo y cualitativo

8.3.1 Cantidad de luz en cada punto de plano de trabajo

8.3.2 Factor de luz de día. (FLD)

8.3.3 Distribución de la luz

8.3.4 Deslumbramiento

8.4 Descripción del experimento

8.5 Modelo físico tridimensional

8.6 Descripción del dispositivo experimental

8.7 Descripción de los equipos de medición

8.8 Monitoreo

8.9 Diagnóstico

8.10 Simulación de modelo

CAPÍTULO 9 - RESULTADOS

9.1 Análisis e interpretación de los resultados sin sistema anidólico

9.2 Análisis e Interpretación de los resultados con sistemas anidólico y su comparación con los modelos de simulación

9.3 Análisis de costo beneficio

CAPÍTULO 10 – CONCLUSIONES

Fuentes

Bibliografía

Aizlewood, M. E., 1993. Innovative daylighting systems: An experimental evaluation. *Lighting Research and Technology*, 25(4), pp. 141-152.

Alma Rosa Ortega Mendoza, 2012. *Geometria solar*. CURSO, DISEÑO BIOCLIMATICO EN LA EDIFICACIÓN URBANA ed. s.l.:Apuntes de la UNAM.

Andersen, M., s.f. *Improving Daylighting in Existing Buildings: Characterizing the Effect of Anidolic Systems*. Cambridge, Massachusetts: s.n.

Anon., 2001. *Tercer informe de evaluación del Pnael Intergubernamental sobre el Cmabio Climático*, s.l.: s.n.

ARQHYS, 2004. ARQHYS. [En línea]
 Available at: <http://www.arqhys.com/construccion/quees-triforio.html>
 [Último acceso: 10 Octubre 2013].

Assaf, L., 2006. *Manual de ELI© Efficient Lighting Initiative*. Buenos Aires, Argentina: s.n.

Boubekri, M., 2008. Daylighting, architecture and health. En: *Architectural Press*. Inglaterra: s.n., p. 104.

BP, 2013. *BP Statistical Review of World Energy 2013*, s.l.: s.n.

Brainard, G., 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel. *Journal of Neuroscience*.

Carlos Hernández Pezzi, 2012. *Un Vitrubio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. s.l.:Gustavo Gili.

Chair, R. T. W., 2001. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Bon, Alemania, s.n.

CIE, 1986. *Guide on interior lighting*, s.l.: s.n.

Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005. *Ergonomía: análisis ergonómico de los espacios de trabajo en oficinas*. España: CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO.

Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005. *Iluminación en edificios*. [En línea]
 Available at: <http://www.idae.es/index.php/id.36/reلمenu.354/mod.pags/mem.detalle>
 [Último acceso: 10 Enero 2014].

Council, U. G. B., s.f. *LEED, Leadership in Energy & Environmental Design*. [En línea]
 Available at: <http://www.usgbc.org/leed/>
 [Último acceso: 08 Noviembre 2013].

CSCEA, s.f. *Un Vitrubio Ecológico: Principios y Práctica del Proyecto Arquitectónico Sostenible*. s.l.:GG.

Díaz Baez, A., 2009. *Dispositivo de iluminación de alta eficiencia instalado en cubos de edificios*. México, D.F.: s.n.

Digital, H., 2013. *Histórico Digital*. [En línea]
 Available at: <http://historicodigital.com/el-templo-griego.html>
 [Último acceso: 12 Octubre 2013].

Eberhard, J., 2009. Applying Neuroscience to Architecture. *Neuron*, Volumen 65, pp. 753-756.

EN, E. S., 2003. *Lighting of workplaces (Comité Européen de Normalisation)*, s.l.: s.n.

European Committee for Standardization, 1996. *Lighting applications. Bélgica..* [En línea]
Available at: <http://www.cen.eu/cen/pages/default.aspx>
[Último acceso: 09 Noviembre 2013].

Evans, M., 1980. *Housing, Climate and Comfort*. Londres: The Architectural Press.

Fletcher, B., 2005. *Historia de la Arquitectura 1: Egipto, el cercano oriente, Asia y Grecia*. Primera ed. D. F., México: LIMUSA.

Fletcher, B., 2005. *Historia de la Arquitectura 2: Europa y el mediterraneo, de la Roma antigua al fin del medievo*. Primera ed. D.F., México: LIMUSA.

Fletcher, B., 2005. *Historia de la Arquitectura 5: África, América, Asia y Australia: periodos Colonial y Poscolonial*. Primera ed. D.F., México: LIMUSA.

Fontoynton, M., 1998. *Daylight Performance of Buildings*. UK: James and James.

Foundation, T. N., 2007. *Nobelprize.org*. [En línea]
Available at: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/
[Último acceso: 13 Octubre 2013].

Fuentes, J. M. L., 1976. *Historia del Arte*. México D.F.: Continental.

Fuentes, V., 2004. *Clima y Arquitectura*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, Azc.

Granados H., 2006. *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo. Eficiencia energética..* España: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.

Green Street S. A. de C.V., s.f. *Green Street... the earth's fund*. [En línea]
Available at: <http://theearthsfund.com/energias-renovables/energia-solar/>
[Último acceso: 9 Febrero 2014].

GREENPEACE, 2008. *Iluminación Eficiente: primer paso hacia una [r]evolución energética*, s.l.: s.n.

GREENPEACE, 2010. *México ante el cambio climático: evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*, s.l.: s.n.

HERSCHONG MAHONE GROUP, 1999. *Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance*, E.U.A.: California Board for Energy Efficiency third party program.

Hopkinson, R. P. P. L. J., 1966. *Daylighting*. Reino Unido: Heinemann.

IDAE, 2005. *Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación*. Madrid: CEI.

Illuminating Engineering Society of North America IESNA, 1999. *Recommended Practice of Daylighting. Daylighting committee..* [En línea] Available at: http://www.iesna.org/about/what_is_iesna.cfm [Último acceso: 09 Noviembre 2013].

Kogan AO, G. P., 1998. Side effects of short-term 10,000-lux light. *Am J Psychiatry*, pp. 155-293.

Lacomba, R., Fuentes Freixanet, V. & et al, 1991. *Manual de Arquitectura Solar*. México, D.F.: Trillas.

Luis Arnal Simon, Maz Betancourt Suárez, 2004. *REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL*. MEXICO: TRILLAS.

Lurie, S., 2006. Seasonal affective disorder. *American Family Physician*, 74(9), pp. 1521-1524..

Martínez, J. & Fernández, A., 2004. *Cambio climático: una visión desde México*. Primera ed. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.

Mills, E. Y Borg, N., 1999. *Trends in recommended illuminance levels: An international Comparison*. s.l.:Journal of the Illuminating Engineering Society. Winter.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998. *Enciclopedia de la Organización Internacional del Trabajo, de salud y seguridad en el trabajo*. 3ra. edición ed. Madrid, España: s.n.

Muhammad, I., 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. New York, USA: Academic Press.

NG, E., 2007. Defining standard skies for Hong Kong. *Building and Environment*. 42(2), pp. 866-876.

Partonen, T., 2000. Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. *Journal of Affective disorders*.

Pattini, A., 1995. *Evaluación en modelo an escala de aberturas cenitales para aprovechar la luz solar*. s.l.:s.n.

Pattini, A., 2000. Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparacion Internacional.. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4(1), pp. 05.07-05.13.

Pattini, A., 2006. *Manual de Iluminación Eficiente*. Buenos Aires: s.n.

Pattini, A., Mitchell, J. & de Rosa, C., 1993. *Evaluación de iluminación natural en aulas mediante simulación y modelos a escala*, La Plata, Arg.: s.n.

Pattini, V. G. I. L., s.f. *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL ANIDOLICO PARA EL CENTRO DE PROPAGACIÓN AGÁMICA INTA-CATAMARCA*. Catamarca, Argentina: s.n.

PHILIPS, 2010. *Soluciones eficientes para iluminación industrial*, s.l.: s.n.

Rosenthal, N., 1984. A Description of the Syndrome and Preliminary Findings With Light Therapy, *Archives of General Psychiatry*. 41(1), pp. 72-80.

Sakamoto K., N. S. K. K. K. T. T. K., 1995. A longitudinal follow-up study of seasonal affective disorder. *Am J Psychiatry*, Volumen 46, pp. 107-17.

Secretaria del Trabajo y Prevision Social, 2008. *Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. [En línea]

Available at: <http://www.stps.gob.mx>
[Último acceso: 05 Noviembre 2013].

SENER, 2011. *Balance Nacional de Energía 2011*, s.l.: s.n.

SENER, 2012. *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*, s.l.: s.n.

SENER, 2012. *Prospectiva de Petróleo Crudo 2012.2026*, Mexico: s.n.

SENER, 2012. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026*, Mexico: s.n.

Sprajc, I., 2001. *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica del centro de México*. Primera ed. México, D.F.: INAH.

Taboada, J. A., 1983. *Manual de luminotecnica OSRAM*. s.l.:Dossat.

Tamayo, J. L., 1987. *Geografía de México*. México: Trillas.

Tanaka, A., 2004. Toxicity of indium arsenide, gallium arsenide, and aluminium gallium arsenide. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1(198(3)), pp. 405-11.

Thompson, C., 2002. Light therapy in the treatment of seasonal and nonseasonal affective disorders: a meta-analysis of randomised controlled trials. *J Affect Disord*, pp. 68-89.

Tops, M., 1998. The effect of the length of continuous presence on the preferred illuminances in offices. *Proceedings CIBSE Conference*.

van Bommel, W., van den Beld, G. & van Ooyen, M. F., 2002. Industrielle Beleuchtung und Produktivität. *Licht 2002 Tagung*.

Viqueira, M., 2011. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México: Limusa, S.A de C.V..

Figuras

Tablas

Apéndice A

Glosario y anexos